دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

١١
الجزء الثاني

الإلكترونيات الصناعية



بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الإلكترونيات الصناعية

علم الصناعة

الجزء الثاني

للصف الأول الثانوي

الفرع الصناعي

المؤلفون

جهاد دريدي «منسقاً»
عثمان إرفاعية
باسل عبد الحق
يوسف شقير

إبراهيم محمود قدح «مركز المناهج»

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب الالكترونيات الصناعية في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٥ / ٢٠٠٦م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

مركز المناهج

إشراف تربوي : د.عمر أبوالحمص

الدائرة الفنية

- **إشراف إداري:** رائد بركات
- **تصميم:** عبد الجبار دويكات
- **الإعداد المحوسب للطباعة:** حمدان بحبوح
- **تصميم الغلاف:** كمال فحماوي
- **تدقيق لغوي:** تحسين يقين
- **تنضيد:** أسمهان فوزي

الفريق الوطني لإعدا د الخطوط العريضة لمنهاج التعليم المهني والتقني / الفرع الصناعي

تخصص: الكترونيات صناعية

سعيد جاد الحق   يوسف شقير   علي الزيتاوي

الطبعة الأولى التجريبية

٢٠٠٦م/١٤٢٧ هـ

مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة
ص .ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين
تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+
الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهوحق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

أقرت الوزارة هذا العام (٢٠٠٥/ ٢٠٠٦)م تطبيق المرحلة الأولى من خطتها لمنهاج التعليم التقني والمهني، لكتب الصف الأول الثانوي (١١) بفروعه: الصناعي، والزراعي، والتجاري، والفندقي، والاقتصاد المنزلي(التجميل، تصنيع الملابس)وعدد الكتب ٦٤ كتاباً نظري وعملي، وسيتبعها كتب منهاج الصف الثاني الثانوي (١٢) في العام المقبل. وبها تكون وزارة التربية والتعليم العالي قد أكملت إعداد جميع الكتب المدرسية للتعليم العام للصفوف(١-١٢)، وتعمل الوزارة حالياً على توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وعمل دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث، في جميع المباحث (أفقياً وعمودياً)؛ لمواصلة التطوير التربوي، وتحسين نوعية التعليم الفلسطيني.

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الأحد عشر حتى الآن، وعددها يقارب ٣٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كلٌّ حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركزالمناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
كانون ثاني ٢٠٠٦ م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين وعلى آله وصحبه وبعد،

فهذا هو الجزء الثاني من كتاب علم الصناعة لمادة الإلكترونيات الصناعية، حيث وسعنا في المفاهيم الأساسية التي تم تغطيتها في الجزء الأول، وأدرجنا الكثير من التطبيقات عليها.

جاء هذا الكتاب في أربع وحدات، شملت كل وحدة جانباً مهماً من الأساسيات لطلبة تخصص الإلكترونيات الصناعية، فقد عرض في الوحدة الأولى أنواع الترانزستورات ثنائي القطبية وترانزستور تأثير المجال، إضافة إلى دارات الانحياز لها، وكذلك العديد من التطبيقات الهامة التي يشكل الترانزستور الجزء الأساسي فيها.

وفي الوحدة الثانية تم عرض مكبر العمليات، وأهمية هذا المكبر في الدارات الإلكترونية المختلفة، وكذلك العديد من استخداماته كجامع، ومفاضل، ومقارن، ومرشح، وتطبيقات غير خطية أخرى.

فيما تناولت الوحدة الثالثة أهمية تغذية الدارات الإلكترونية بالتيار المستمر، ومصادر التغذية التي تعتمد على منظمات القدرة باستخدام الدارات المتكاملة. كذلك تم استعراض المنظمات المفتاحية التي أصبحت تشكل الآن أهم منظمات للتغذية المستمرة في العديد من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.

وفي الوحدة الرابعة تم عرض أهمية المحركات الكهربائية التي أصبحت تدخل في كثير من الأجهزة، وأنواعها، وخصائصها المختلفة، وكيفية التحكم في سرعتها، ومدى ملاءمتها للتطبيقات المختلفة.

وأخيراً وليس آخراً، فإننا نضع بين أيدي زملائنا ومعلمينا هذا الجهد المتواضع، راجين الله عز وجل أن نكون قد وفقنا في طرح المفاهيم بما يتناسب وروح العصر. كما نرجو أن لا يبخل علينا زملاؤنا والمهتمون بهذا المجال بما لديهم من ملاحظات وآراء عن محتويات وطريقة طرح مواضيعه، لما فيه الفائدة لأبنائنا الطلبة، ولهم منا جزيل الشكر والعرفان.

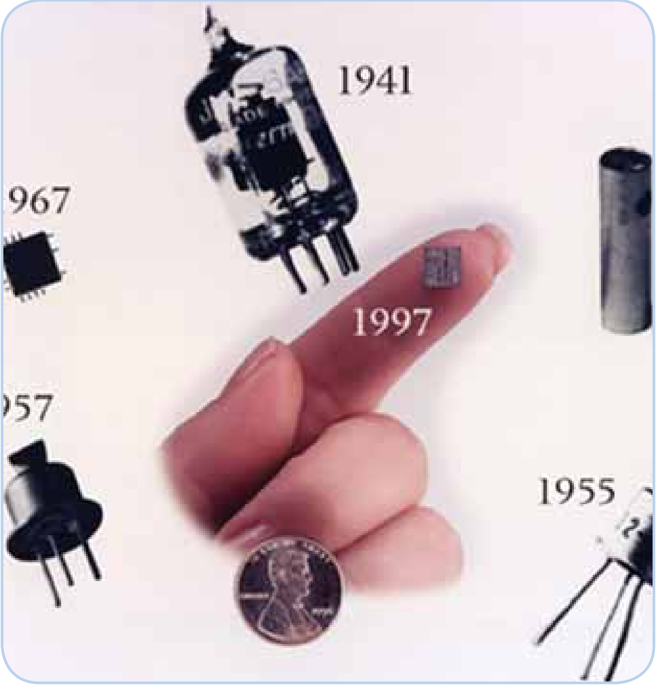
المؤلفون

والله ولي التوفيق

المحتويات

الوحدة ١

الترانزستور

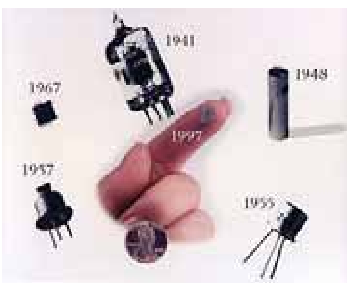


الوحدة (١)

الترانزستور

في عام ١٩٤٨ تمت نقلة نوعية وتقدماً كبيراً في علم الالكترونيات و تكنولوجيا التصنيع، حيث تمكن فريق من علماء الفيزياء الأمريكيين من «معامل بيل» (شوكلي وباردين و براتين) من اختراع عنصر الكتروني جديد من المواد شبه الموصلة أطلقوا عليه أسم ترانزستور Transistor - و هو اختصار لكلمتي Transfer Resistor أي تحويل المقاومة - . وقد كان الترانزستور بديلاً جيداً للصمامات المفرغة. لاحظ شكل (١) و قد ساعدت عدة عوامل إلى انتشاره بشكل كبير منها : صغر حجمه، قلة التكلفة، سهولة التصنيع، سهولة التعامل و الصيانة، استهلاكه قليل للطاقة.

و يستخدم الترانزستور بشكل عام كمكبر إشارة وكمفاتيح الكترونية.



شكل (١): ترانزستور وصمام

تصنف الترانزستورات إلى الأنواع التالية :

١ ترانزستور ثنائي القطبية BJT .

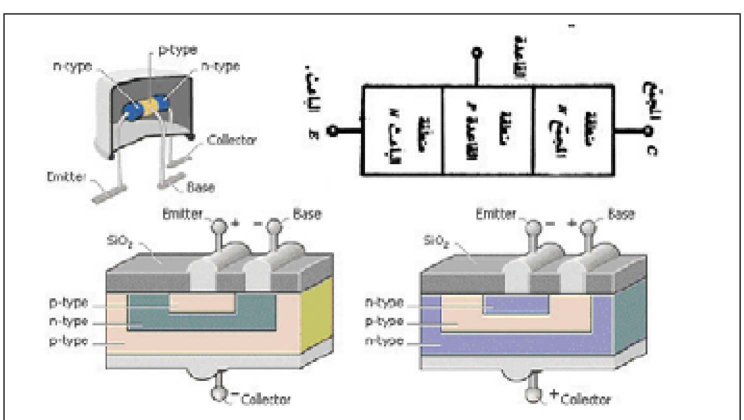
٢ ترانزستور تأثير المجال FET .

٣ ترانزستور أحادي الوصلة UJT .

(١) ترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor

التركيب :

يتكون ترانزستور BTJ من وصلتي P-N متصلتين على التوالي، بحيث تشترك الوصلتان في المنطقة الوسطى و بذلك يصبح ترانزستور مكوناً من ثلاث طبقات PNP أو NPN شكل (٢).

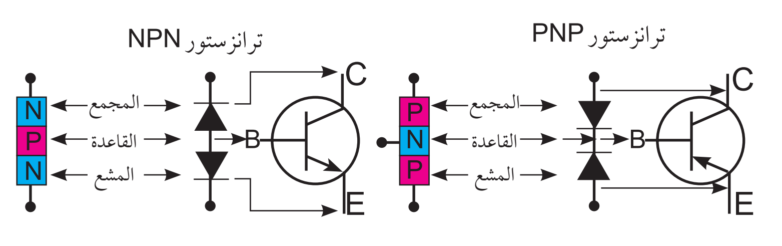


شكل (٢): بنية وتركيب الترانزستور

تسمى المنطقة الوسطى بالقاعدة Base أما المنطقتان الطرفيتان فتسمى إحداهما الباعث Emitter والأخرى بالمجمع Collector . حيث يتكون ترانزستور NPN من طبقة من نوع P (القاعدة) تتوسط طبقتين من نوع N (الباعث و المجمع) وبذلك تتكون وصلتان P-N هما :

١ وصلة القاعدة – الباعث .

٢ وصلة القاعدة – المجمع .



شكل (٣) : رمز الترانزستور والمكافىء الديود

وتعتمد طبيعة عمل ترانزستور على حركة الالكترونات و الفجوات معاً ، ويتميز الباعث في الرمز التخطيطي برأس السهم شكل (٣) كما أنه يشير إلى جهة المادة من النوع N مما يساعد على التميز بين الرمز التخطيطي للترانزستور NPN وللترانزستور PNP .

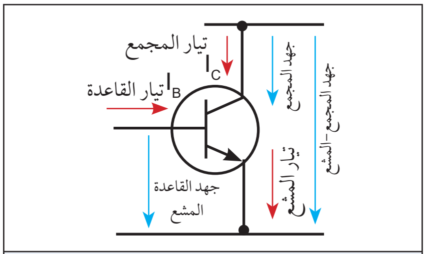
ويمكن تمثيله بثنائيين الأول بين الباعث والقاعدة والثاني بين المجمع والقاعدة ، ويكون اتجاه الثنائي معتمداً على تركب الترانزستور .

ويتميز الباعث عن المجمع بان تركيز الشوائب في شريحة الباعث أعلى بكثير منه في شريحة المجمع ، مما يجعل تركيز حاملات الشحنة الأغلبية في الباعث أكثر من المجمع ، وتجدر الإشارة بأن حاملات الشحنة في ترانزستور NPN هي الالكترونات الحرة .



شكل (٤) : أشكال الترانزستور الشائعة

وفي ترانزستور PNP هي الفجوات ، أما القاعدة فتتميز بنسبة تركيز منخفضة للشوائب ، وسماكتها صغيرة ، ويبين شكل (٤) أشكال مختلفة للترانزستورات تبعاً لطبيعة استخدامها ، ويوضع الترانزستور داخل عبوة من البلاستيك أو المعدن وتبرز أطراف التوصيل كما في الشكل و يراعى تزويد الترانزستورات القدرة العالية بجناح معدني خاص يمكن وصله بمدد حراري .



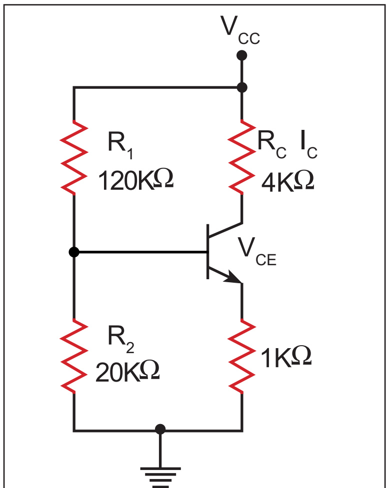
شكل (٥) : التيارات والجهود في الترانزستور

مبدأ العمل :

يتلخص عمل الترانزستور ثنائي القطبية بالنقاط التالية :

- يبين الشكل (٥) الجهود و التيارات و اتجاهاتها حيث يمثل السهم اتجاه سريان التيار .
- تكون الجهود بين القاعدة و الباعث و كذلك بين المجمع و الباعث V_{BE} و V_{CE} موجبة في ترانزستور NPN

- وتكون الوصلة بين القاعدة و الباعث في انحياز أمامي، وهذا يؤدي إلى تصغير منطقة الاستنزاف في وصلة الباعث، مما يؤدي إلى بعث أكبر عدد من الالكترونات .
- و كذلك الوصلة بين القاعدة و المجمع في حالة انحياز عكسي .
- تكون اتجاهات التيار و الجهد في الترانزستور PNP معاكسة لاتجاهات التيار و الجهد في الترانزستور NPN.
- في حالة عدم إيصال أية جهود إلى أطراف الترانزستور لا تسري تيارات، نظراً لأن الالكترونات والفجوات الحرة في مناطق الترانزستور تكون غير كافية للتغلب على حاجز الجهد Potential barrier (يساوي عادة بضعة أعشار فولط) في الوصلات و بذلك يكون الترانزستور في حالة اتزان من الناحية الكهربائية، أي أن قيم التيارات تساوي صفراً .



شكل (٦): إحدى طرق الانحياز للترانزستور NPN

- و لكي يعمل الترانزستور بشكل طبيعي يجب توفير الانحياز المناسب لوصلتي الترانزستور عن طريق إيصال جهود خارجية إلى أطرافه، يبين شكل (٦) إحدى طرق الانحياز التي تضع وصلة القاعدة - الباعث في حالة انحياز أمامي . و هذا يؤدي إلى إطلاق الالكترونات من منطقة الباعث N و توجيهها نحو منطقة القاعدة و تتجه الفجوات بدورها من القاعدة إلى الباعث .
- و يعتمد عدد الالكترونات التي تتابع سيرها إلى المجمع على اتساع منطقة القاعدة، حيث يزداد عدد هذه الالكترونات مع تقليل اتساع منطقة القاعدة، ولهذا تكون معظم الترانزستورات تملك قاعدة ضيقة، مما يؤدي إلى وصول معظم الالكترونات إلى منطقة المجمع .
- يعد التيار المار في دائرة المشع أكبر من ذلك المار في القاعدة (عدة أضعاف)، ويتمثل الاتجاه التقليدي للتيار المار في مروره من المشع إلى المجمع في حالة الترانزستور المكون من PNP بينما يسير من المجمع إلى المشع في حالة الترانزستور المكون من NPN .
- تكون العلاقة بين التيارات المارة في الترانزستور حسب العلاقة التالية : انظر شكل (٥)

$$I_E=I_B+I_C$$

حيث I_E: تيار المشع، I_C تيار المجمع، I_B تيار القاعدة .

أي أن تيار المجمع يساوي مجموع تيار القاعدة و تيار المجمع .

ويعتبر تيار القاعدة صغير جداً مقارنة بتيار المجمع، و من المعادلة السابقة يعتبر من باب التقريب تيار المجمع مساوياً لتيار الباعث .

- يتم التحكم بقيمة تيار المجمع بواسطة تيار القاعدة، فكلما زاد تيار القاعدة زاد تيار المجمع، ويمكن

القول بأن الترانزستور يشبه مقاومة متغيرة، حيث تتغير قيمتها بالاعتماد على تغير قيمة تيار القاعدة، فكلما زاد تيار القاعدة قلت قيمة المقاومة الداخلية مما يؤدي إلى زيادة تيار المجمع، و كلما قل تيار القاعدة زادت قيمة المقاومة الداخلية، مما يؤدي إلى نقص في قيمة تيار المجمع .

الكسب Gain

يعد مقدار التضخيم «أي الكسب» الذي يوفره المضخم من أحد أهم العوامل التي تعتمد عليها دارة المضخم .

حيث يمثل كسب الجهد النسبة بين جهد الخرج و جهد الدخل

$$A_v = V_{out} / V_{in}$$

و يمثل كسب التيار النسبة بين تيار الخرج و تيار الدخل .

$$A_i = I_{out} / I_{in}$$

ويمثل كسب القدرة النسبة بين القدرة الخاصة بالخرج و القدرة الخاصة بالدخل .

$$A_p = P_{out} / p_{in}$$

وبما أن قيمة القدرة تساوي حاصل ضرب التيار في الجهد الكهربائي

$$P = I\,V$$

يمكن استنتاج :

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{out} V_{out}}{I_{in} V_{inn}} = \frac{I_{out}}{I_{in}} \times \frac{V_{out}}{V_{in}} = A_i \times A_v$$

$$A_p = A_i \times A_v$$

مثال (١):

مضخم ينتج جهد كهربائي تصل قيمته إلى ٢ فولط لدخل تبلغ قيمته ٥٠ ميلي فولط، فإذا كانت قيم تيار الدخل ٤ ميلي أمبير وتيار الخرج ٢٠٠ ميلي أمبير . احسب:

١ كسب الجهد .   ٢ كسب التيار   ٣ كسب القدرة

الحل :

١ كسب التيار حسب المعادلة

$$A_i = I_{out} / I_{in}$$

$$A_i = 200m/4 = 50$$

٢ كسب الجهد حسب المعادلة

$$A_v = V_{out} / V_{in}$$

$$A_v = 2/50m = 40$$

٣ كسب القدرة حسب المعادلة

$$A_p = A_i \times A_v$$

$$A_p = 40 \times 50 = 2000$$

معامل كسب التيار

ويرمز له بالرمز β (BETA) لدارة الباعث المشترك يحدد العلاقة بين تيار المجمع I_C وتيار القاعدة I_B حسب العلاقة التالية :

$$\beta = I_C / I_B$$

وتتراوح قيمة β للترانزستور العادي من 20 - 200 باستثناء بعض الترانزستورات الخاصة ، و التي تصل فيها β إلى 10000 . و في معظم لوحات بيانات الترانزستور يرمز لهذا المعامل بالرمز h_{FE} . و يعتبر معامل الكسب أيضاً النسبة بين تيار خرج دارة التضخيم و تيار دخلها ، ويعبر عنه بكفاءة الترانزستور في عملية تضخيم الإشارة .

أما في دارة القاعدة المشترك فيرمز له بالرمز ∝ ويحدد العلاقة بين تيار المجمع وتيار الباعث .

$$\propto = I_C / I_E$$

لاحظ أن معامل التضخيم أقل من واحد ($I_E > I_C$)

والعلاقة التي تربط بين ∝ و β هي :

$$\beta = \frac{\propto}{1-\propto}$$

(تم الاشتقاق من المعادلة $I_E = I_C + I_B$)

تنويه : تحتوي استمارات بيانات الترانزستور على معاملين لكسب التيار في حالة الباعث المشترك ، المعامل الأول يعطي كسب التيار في حالة التيار المستمر و يرمز له بالرمز h_{FE} و يعطى بالعلاقة :

$$h_{FE} = I_C / I_B$$

المعامل الثاني يعطي كسب التيار في حالة تضخيم الإشارة الصغيرة المتناوبة و يرمز له بالرمز h_{fe} و يعرف في هذه الحالة بأنه النسبة بين التغيرات الصغيرة التي تحدث في تيار المجمع ΔI_C إلى التغيرات الصغيرة في تيار القاعدة ΔI_B

$$h_{fe} = \Delta I_C / \Delta I_B$$

و عادة يكون الفرق بين h_{FE} و h_{ef} ضئيلاً .

مثال (٢):

ترانزستور يعمل بتيار مجمع قيمته ٥٠ ميلي أمبير ، وتيار قاعدة قيمته ١ ميلي أمبير ، و الجهد على المخرج يساوي ٦ فولط و الجهد على المدخل يساوي ٠,٣ فولط ، احسب :

١ تيار الباعث

٢ معامل كسب التيار β

٣ معامل كسب الجهد

٤ معامل كسب القدرة .

الحل

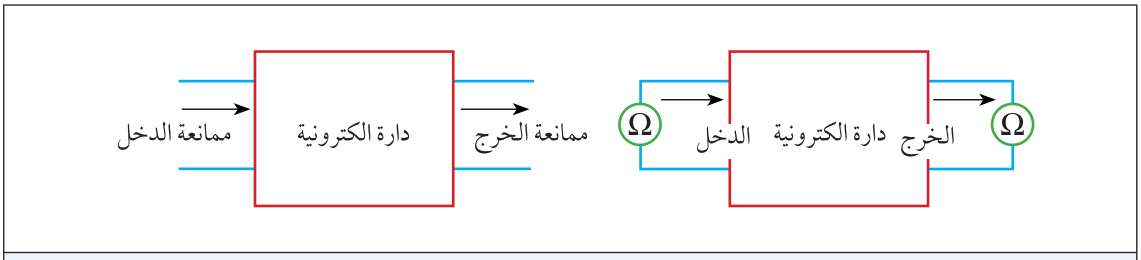
$I_B = 1mA$

$I_C = 50\ mA$

$$I_E = I_B + I_C$$
$$I_E = 50m + 1m = 51mA$$
$$\beta = I_C/I_B = 50m/1m = 50$$
$$A_v = V_o/V_{in} = 6/0.3 = 20$$
$$A_p = A_i \times A_v = 50 \times 20 = 1000$$

ممانعة الدخل و ممانعة الخرج

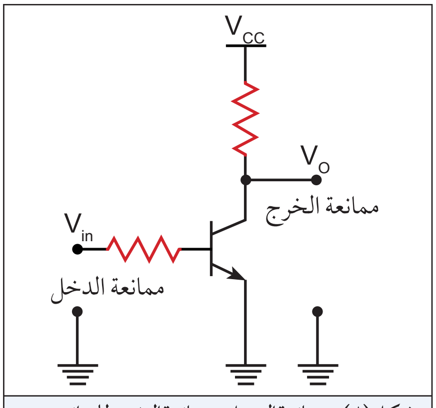
من مواصفات دوائر التكبير Amplifiers هو أن تكون ممانعة الدخل عالية و ممانعة الخرج منخفضة . الشكل (٧) يوضح ممانعة الدخل و ممانعة الخرج لدارة ما .



شكل (٧) : ممانعة الدخل وممانعة الخرج

و الشكل (٨) يوضح ممانعة الدخل وممانعة الخرج للترانزستور .

في المكبرات تكون الإشارة القادمة للتكبير صغيرة و ذات تيار قليل و لذلك يفضل أن تكون ممانعة الدخل كبيرة لأنها تتعامل مع تيار صغير . و أيضاً يفضل أن تكون الإشارة الخارجة كبيرة و يمكن أن تزود بتيار عالٍ و لذلك يفضل أن تكون ممانعة الخرج منخفضة .



شكل (٨) : ممانعة الدخل وممانعة الخرج للترانزستور

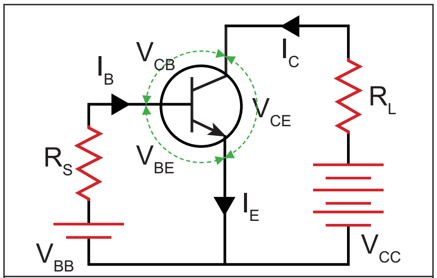
دارات الترانزستور الأساسية :

للترانزستور ثلاث دارات أساسية تعتمد على طرف الترانزستور المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها، و تعطي كل دارة بعض الفوائد أو المميزات لكنها لا تخلو من بعض المساوئ أو القصور، ويتم اختيار الدارة المناسبة حسب التطبيق المراد، وهذه الدارات هي :

١ دارة الباعث المشترك Common Emitter

يبين شكل (٩) دارة الباعث المشترك، حيث يكون الباعث هو الطرف المشترك بين مدخل الدارة ومخرجها من ميزاتها :

- الحصول على معامل كسب للجهد و التيار عال نسبياً .
- يوجد فرق في الطور بين إشارة الدخل و إشارة الخرج مقدارها 180 درجة .
- ممانعة الدخل متوسطة (تقاس بوحدة الكيلو أوم) وممانعة الخرج متوسطة أيضاً، ولكنها أعلى من ممانعة الدخل .

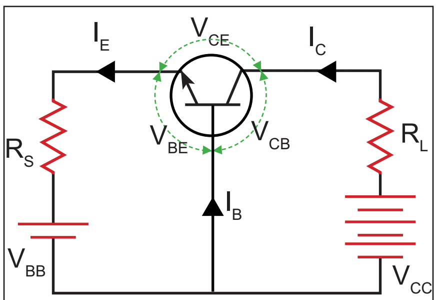


شكل (٩) : دارة الباعث المشترك

٢ دارة القاعدة المشتركة Common Base

يكون في هذه الدارة طرف الترانزستور القاعدة كما هو مبين في شكل (١٠) هو الطرف المشترك بين المدخل و المخرج، من ميزاتها :-

- كسب جهد عال جداً (أعلى من الباعث المشترك)
- لا يوجد فرق في طور الموجة الداخلة مع الموجة الخارجة
- لا يوجد كسب للتيار . (معامل التضخيم أقل من واحد)
- ممانعة الدخل منخفضة .
- ممانعة الخرج عالية .



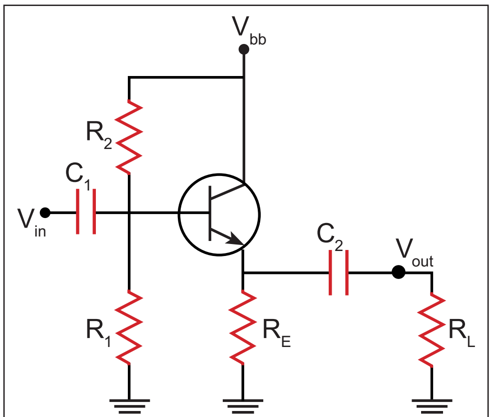
شكل (١٠) : دارة القاعدة المشتركة

تستخدم لربط دارتين، حيث تكون ممانعة خرج الأولى منخفضة وممانعة دخل الثانية عالية، وتسمى هذه الطريقة من الربط مواءمة الممانعة (Impedance Matching) .

٣ دارة المجمع المشترك Common Collector تسمى أيضاً تابع الباعث (Emitter Follower).

يكون في هذه الدارة المجمع هو الطرف المشترك بين مدخل الدارة و مخرجها كما هو مبين في الشكل (١١) من ميزاتها :-

- الحصول على كسب للتيار عال (أعلى من الباعث المشترك).
- لا يوجد كسب للجهد (معمل التضخيم أقل من واحد).
- لا يوجد فرق في طور الموجة الداخلة مع الموجة الخارجة.
- ذات ممانعة دخل عالية.
- ذات ممانعة خرج منخفضة.



شكل (١١) : دارة المجمع المشترك

تستخدم كدارة فصل بين مقاومة خرج عالية و مقاومة دخل منخفضة Buffer

المواصفات الفنية للترانزستور

عند استخدم الترانزستور في دارة ما ، أو عند استبدال ترانزستور جديد مكان تالف ، فيجب مراعات المواصفات الفنية التالية :-

١ نوع الترانزستور و قطبيته PNP ، NPN ، FET ، MOSFET . . .

٢ المادة المصنع منها الترانزستور السليكون Si أم الجرمانيوم Ge .

٣ القيم القصوى :

أ- فولطية المجمع الباعث القصوى $V_{CE(MAX)}$.

ب- فولطية المجمع القاعدة $V_{CB(MAX)}$.

جـ- تيار المجمع الأقصى $I_{C(MAX)}$.

د- القدرة المبددة القصوى P_{MAX} . و تعرف بأنها $P = V_{CE} \times I_C$

هـ- كسب التيار h_{FE} .

و- تردد القطع للترانزستور f_t و يعرف بأنه التردد الذي ينخفض عند قيمة كسب التيار h_{FE} إلى 0.707 من قيمته القصوى .

ز- الشكل الخارجي : الأحجام و ترتيب الأطراف .

ح- التطبيقات : و يمكن تصنيف التطبيقات إلى :

- ترانزستور متعدد الأهداف .
- ترانزستور ترددات سمعية AF منخفض القدرة .
- ترانزستور قدرة للترددات السمعية .
- ترانزستور ترددات راديوية RF منخفض القدرة .
- ترانزستور قدرة للترددات الراديوية .
- ترانزستور مفتاحي منخفض القدرة .
- ترانزستور مفتاحي عالي القدرة .

منحنيات خواص الترانزستور

يتم استخدام منحنيات خواص الترانزستور في عمليات تحليل و تصميم الدارات المختلفة ، حيث يصعب إجراء مثل هذه العمليات بدون هذه المنحنيات ، و هنالك نوعان منها :

١ منحنيات الدخل :

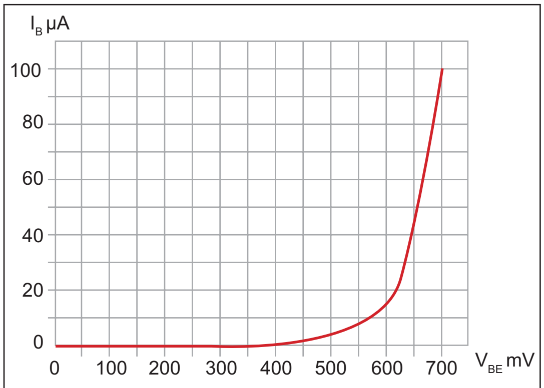
٢ منحنيات الخرج

تختلف منحنيات الخواص باختلاف توصيل الترانزستور في الدارة . و سيتم شرح منحنيات دارة الباعث المشترك .

١ منحنيات الدخل Input Characteristic:

منحنى الدخل : هو العلاقة بين فولطية الدخل V_{BE} و تيار الدخل I_B عند ثبوت فولطية الخرج V_{CE} . كما هو واضح في الشكل (١٢) فإن منحنيات الدخل تشبه منحنى خواص الثنائي .

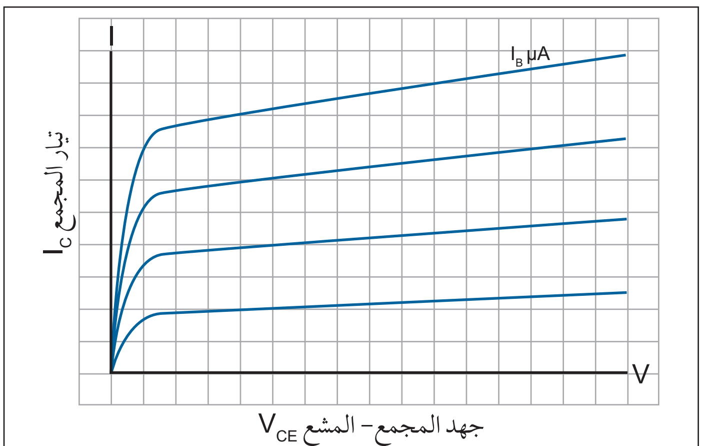
عند وصول جهد الدخل للترانزستور إلى 0.7V المصنوع من السليكون- و 0.3V المصنوع من الجرمانيوم- تنحاز وصلة القاعدة- الباعث أمامياً وينتقل الترانزستور إلى الوصلة .



شكل (١٢) : منحنى الدخل للترانزستور

٢ منحنيات الخرج:

تعرف منحنيات الخرج على أنها العلاقة بين تيار الخرج I_C مع جهد الخرج V_{CE} عند ثبات تيار الدخل I_B . ويوضح الشكل (١٣) منحنى الخرج لترانزستور في دارة الباعث المشترك . من الشكل يتبين الخواص التالية :



شكل (١٣) : منحنى الخرج للترانزستور

أ- إن الزيادة في تيار القاعدة I_B (الدخل) يؤدي إلى زيادة كبيرة في تيار المجمع I_c .

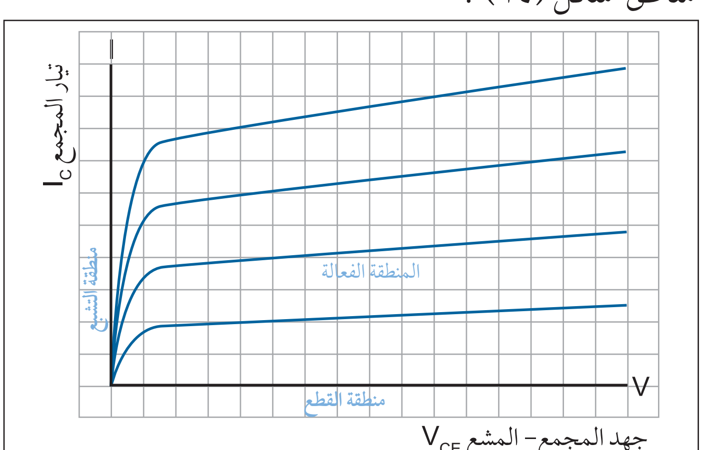
ب- استمرا الزيادة في تيار الدخل I_B يؤدي إلى انحياز وصلة القاعدة - المجمع أمامياً ويصبح الجهد عليها 0.5 فولط و يصل تيار المجمع (المخرج) إلى قيمته القصوى . ويصل الترانزستور إلى التشبع .

جـ- إن استمر الزيادة بعد ذلك في تيار الدخل لا تؤدي إلى زيادة ملحوظة في تيار الخرج .

و تقسم مناطق عمل الترانزستور إلى ثلاث مناطق شكل (١٤) :

١ المنطقة الفعالة Active Region في هذه المنطقة تكون وصلة القاعدة- المجمع منحازة انحياز عكسياً ووصلة القاعدة-الباعث منحازة انحيازاً أمامياً . ويتبين من المنحنى :

أ- أن تيار المجمع يزداد بزيادة تيار القاعدة .



شكل (١٤) : منحنى الخرج للترانزستور مبين عليه المناطق

ب-   تيار القاعدة صغير بالمقارنة مع تيار المجمع وتيار الباعث .

ويستخدم الترانزستور في هذه المنطقة لتكبير الإشارات Amplifier .

٢ منطقة القطع Cut Off Region في هذه المنطقة تكون كل من وصلة القاعدة – الباعث منحازة عكسياً و وصلة القاعدة – المجمع منحازة عكسياً . ويحدث ذلك عندما يكون تيار القاعدة I_B يساوي صفراً و يتبين من المنحنى :

- تيار المجمع I_C يساوي تيار التسريب العكسي عندما يكون تيار القاعدة مساوياً للصفر .
- يستخدم الترانزستور في هذه المنطقة كمفتاح في حالة قطع Off Switch .
- الجهد بين المجمع و الباعث يساوي جهد المصدر $V_{CE} = V_{CC}$

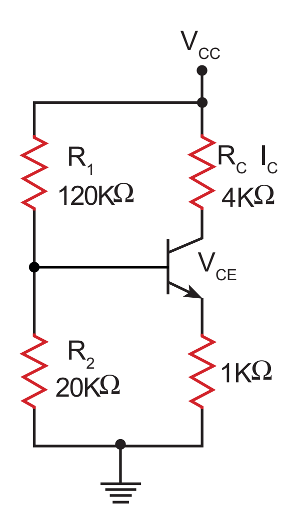
٣ منطقة التشبع Saturation Region

و هذه المنطقة تكون وصلة القاعدة – المجمع منحازة أمامياً ويكون الجهد عليها 0.5V و وصلة القاعدة – الباعث منحازة أمامياً أيضاً ويكون الجهد عليها 0.7V . ويتبين من المنحنى :

- لا يزيد تيار المجمع I_C بزيادة I_B بشكل ملحوظ .
- يستخدم الترانزستور في هذه الحالة كمفتاح في حالة وصل On Switch .
- يكون الجهد بين المجمع و الباعث 0.2 V .
- أي زيادة في تيار القاعدة I_B لن يؤدي إلى تغير يذكر في تيار المجمع I_C حيث يبقى تقريباً ثابتاً . ويعتمد فقط على الحمل . و يطلق على تيار القاعدة $I_{B(SAT)}$ و على تيار المجمع $I_{C(SAT)}$.

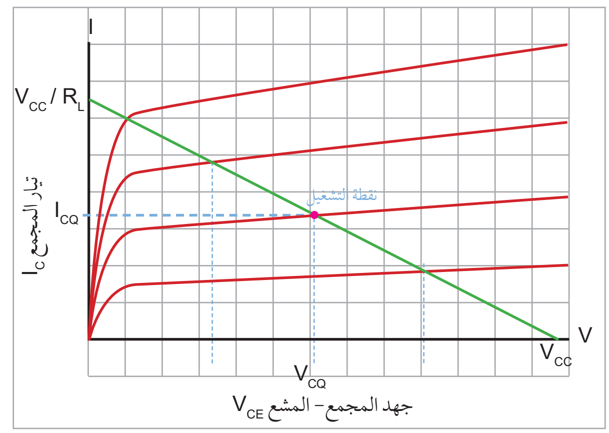
انحياز الترانزستور

لغرض استخدام الترانزستور كمكبر مضخم – Amplifier . يجب استخدام شبكة من المقاومات بالإضافة إلى فولطية مستمرة مناسبة تشكل فولطيات التشغيل . التي تحدد نقطة الاشتغال أو Q- point للترانزستور . ويبين الشكل (١٥) دارة لتوفير الانحياز لترانزستور npn . وليعمل الترانزستور بكفاءة في الدارة يجب توفير فولطيات الانحياز الملائمة من حيث القطبية و القيمة ، فالقطبية غير الصحيحة تؤدي إلى وقفه عن العمل ، أما القيمة غير الملائمة فتؤدي إلى اختلال عمل الدارة بحيث تظهر إشارة الخرج مشوهة ، لذلك يتم ضبط فولطية المجمع الباعث V_{CE} عند قيمة تساوي نصف قيمة فولطية التغذية V_{CC} لضمان التطابق بين إشارتي الدخل و الخرج من حيث الشكل .

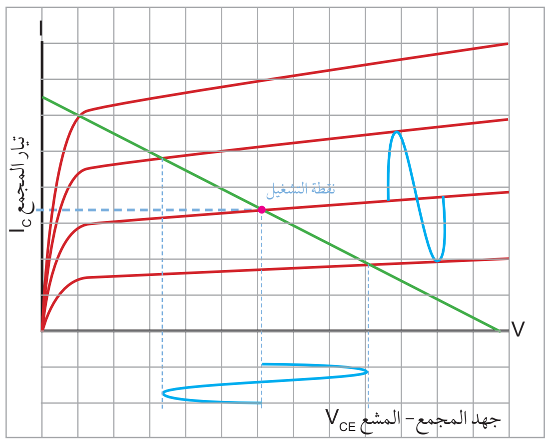


شكل (١٥) : دارة الانحياز للباعث المشترك

يوضح الشكل (١٦) منحنى الخرج مبيناً عليه نقطة الاشغال Q-point .



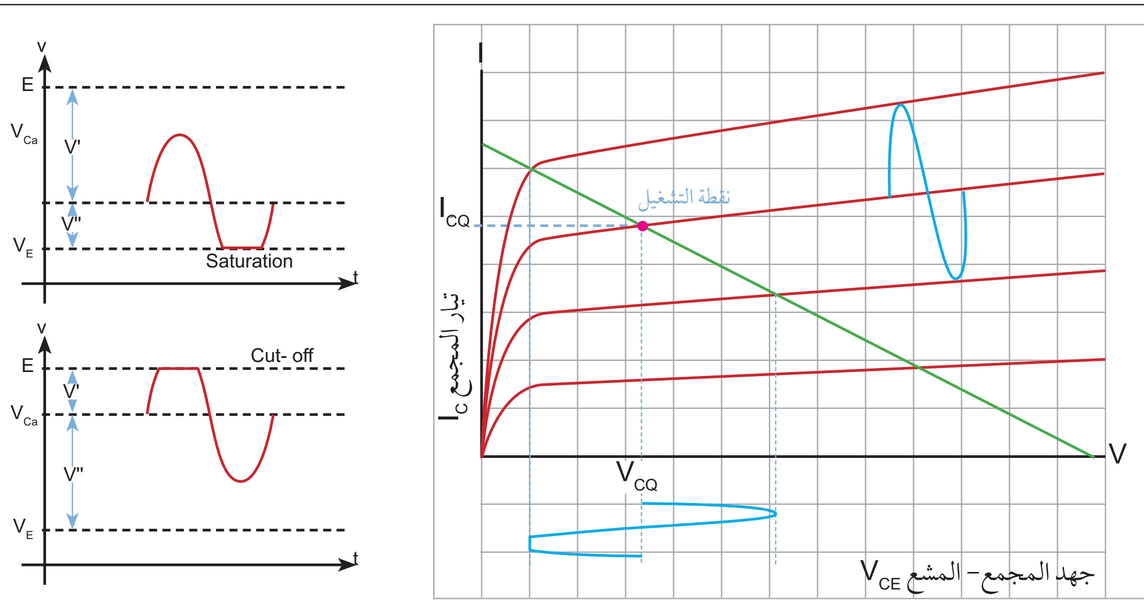
شكل (١٦) : منحنى الخرج مبين عليه نقطة التشغيل



شكل (١٧) : يوضح اشارة الخرج معتمدة على اشارة الدخل وجهد الانحياز

و الشكل (١٧) يوضح إشارة الخرج معتمدة على إشارة الدخل و جهد الانحياز .

عند تحرك نقطة الاشتغال Q-point للترانزستور لسبب ما مثل عدم اختيار جهد انحياز مناسب أو لتغير في الظروف المحيطة للدارة مثل ارتفاع الحرارة، فإن ذلك يؤدي إلى ظهور إشارة الخرج مشوهة كما يظهر في الشكل (١٨) .



شكل (١٨) : يوضح اشارة الخرج المشوهة نتيجة تحرك نقطة التشغيل

مثال (١):

في الدارة التالية لدارة مكبر الباعث المشترك احسب قيمة R_B إذا علمت أن :

$V_{CC} = 10V$ $\quad$ $V_{BB} = 10V$

$R_C = 4K\Omega$ $\quad$ $V_{BE} = 0.7V$

$\beta = 50$

الحل:

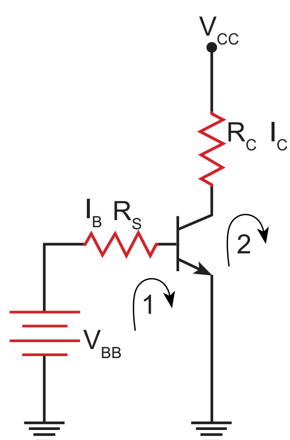
من الدارة في الشكل المجاور حسب قانون كيرشوف (١)

المسار الأول :

$$V_{BB} = I_B \times R_B + V_{BE}$$

$$10 = I_B \times R_B + 0.7$$

$$I_B \times R_B = 9.3 \quad .\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; 1$$



شكل (١٩) : مثال ١

المسار الثاني

$$V_{CC} = R_C \times I_C + V_{CE}$$

$$10 = 4K \times I_C + 5$$

$$I_C = 1.25mA$$

من العلاقة

$$I_C = \beta \times I_B$$

$$I_B = I_C / \beta$$

$$I_B = 25\mu\ A$$

نعوض في المعادلة 1

$$R_B = 9.3/I_B$$

$$R_B = 9.3/25\mu$$

$$R_B = 372K\Omega$$

من الناحية العملية لا يوجد قيمة مقاومة بهذه القيمة و لكن أقرب قيمة لها هي = $390K\,\Omega$.

مثال (٢):

في الشكل المجاور شكل (٢٠) دارة مكبر باعث مشترك مع انحياز مجزئ فولطية . جد قيمة V_{CE} للدارة مع مراعاة أن الترانزستور مصنوع من الجرمانيوم $\quad \beta = 50 \quad V_{BE} = 0.3$

الحل:

تكون الخطوة الأولى تطبيق قانون مجزئ الفولطية

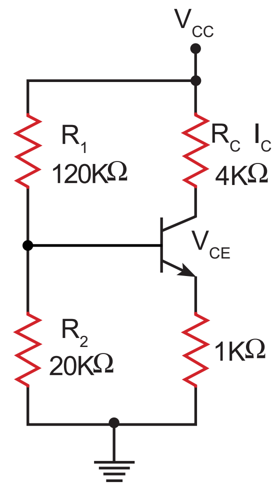
$$V_{BB} = V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2} = 10\,\frac{20K}{20K+120K} =$$

$$V_{BB} = 1.43V$$

المقاومة المكافئة (على التوازي)

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} = \frac{20K \times 120K}{20K + 120K}$$

$$R_B = 17.1K\Omega$$



فتصبح الدارة كما في الشكل (٢١)

بتطبيق قانون كيرشوف على الدارة

$V_{BB} = R_{B'} I_B + V_{BE} + R_E I_E$ .... (1)

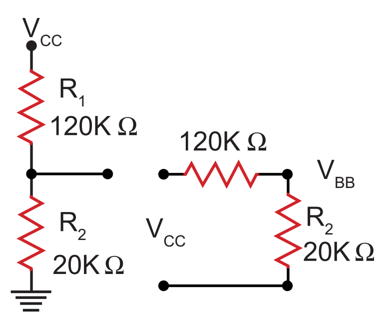
$1.43 = 17.1K\, I_B + 0.3 + 1K\, I_E$

$1.13 = 17.1K\, I_B + 1K\, I_E$ .... (1)

$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$

$10 = 4K\, I_C + V_{CE} + 1K\, I_E$ .... (2)

أيضاً



شكل (٢٠): مثال ٢

$I_E = I_C + I_B$

$I_C = \beta\, I_B$

$I_E = (1 + 50)\, I_B$

$I_E = 51 I_B$ .... (3)

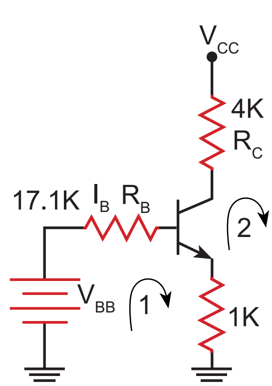
$I_C = 50\, I_B$ ....(4)

بالتعويض في 1

$1.13 = 17.1K\, I_B + 1K \times 51\, I_B$

$1.13 = 68.1K\, I_B$

$I_B = 16.6\mu\, A$



شكل (٢١): مثال ٢

بالتعويض في 4

$I_C = 50 \times 16.6\mu = 0.830\ m\, A$

بالتعويض في 3

$10 = 4K \times 0.83\ m + V_{CE} + 1K \times 0.846\ m$

$V_{CE} = 5.83\ V$

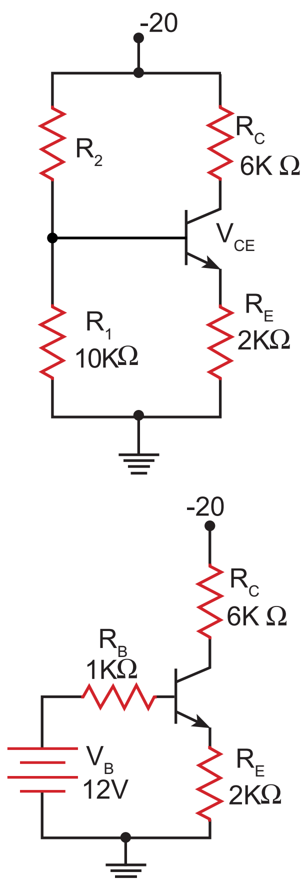
مثال (٣):

الدارة في الشكل (٢٢) إذا علمت ان الترانزستور من نوع PNP احسب قيمة R_2 لتجهيز V_{CE}=10V مع العلم أن :

$$V_{BE} = 0.7 \text{ و } \beta = 60$$

الحل:

اعادة رسم الدارة الأولى في شكل الدارة المكافئة حسب الشكل (٢٢) وحساب قيمة القاومة المكافئة R_B و الجهد V_B



شكل (٢٢): مثال٣

$$R_{B'} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$$

$$V_{B'} = V_{CC}\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

تطبيق معادلة كيرشوف لفولطية الدارة المغلقة عبر الجامع :

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$$

بالتعويض تصبح

$$20 = 6K \times I_C + 10 + 2K \times I_E \text{ ....(1)}$$

$$I_C = \beta\ I_B$$

$$I_C = 60\ I_B$$

و أيضاً $I_E = (1 + \beta)\ I_B = 61\ I_B$

بالتعويض في المعادلة الأولى

$$20 = 6K \times 60\ I_B + 10 + 2K \times 61\ I_B$$

$$482K \times I_B = 10$$

$$I_B = 20.7\mu\ A$$

و تيار الباعث

$$I_E = 61\ I_B$$
$$I_E = 1.263\ m\ A$$

و تكون معادلة كيرشوف للفولطية عبر القاعدة :

$$V_{B'} - I_B \times R_B - V_{BE} - V_{RE} = 0$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2}V_{CC} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}\ I_B + V_{BE} + I_E \times R_E$$

بتعويض القيم نجد

$$\frac{200K}{10K+R_2} = \frac{10K\ R_2}{10K+R_2}\ 0.0207+0.7+1.263m \times 2K$$

$$\frac{200}{10K+R_2} = \frac{0.007R_2}{10K+R_2} + 3.226$$

ضرب الطرفين بالمضاعف المشترك

$$200K = 0.207R2+3.226\ (10K+R2)$$

$$200K = 0.207R2+32.26K+3.226R2$$

$$167.74K = 3.433R2$$

$$R_2 = 48.9K\ \Omega$$

تقرب إلى أقرب قيمة متوفرة وهي $50K\ \Omega$.

التأثيرات الحرارية في الترانزستور Thermal Effect

من عيوب الترانزستورات هي حساسيتها للحرارة و ذلك بسبب :-

- مرور التيار الكهربائي في الترانزستور يؤدي إلى توليد حرارة . ومع ارتفاع قيمة التيار المار ترتفع كمية الحرارة الناتجة . و كما مر سابقاً في وحدة المواد شبه الموصلة فإن الحرارة تعمل على توليد أزواج من حاملات الشحنة الفجوات و الإلكترونات الحرة، مما يؤدي إلى خفض قيمة المقاومة الداخلية للترانزستور، وبالتالي خفض قيمة المقاومة الداخلية للترانزستور، مما يعمل على زيادة التيار . المار و لو استمرت هذه الحالة في زيادة الحرارة الناتجة، فإن الترانزستور سيصل إلى حالة الانفلات الحراري و سيتلف في الحال .
- يمكن معالجة ارتفاع درجة الحرارة بتصميم دارة انحياز للترانزستور، بحيث تراعي الاستقرار الحراري و تمنع تزايد تيار المجمع مع الحرارة .
- كما يساعد على تشتيت تبديد- الحرارة أن يركب الترانزستور على مبرد حراري (Heat Sink) أو يركب على جسم الجهاز .

طرق الربط في المكبرات متعددة المراحل

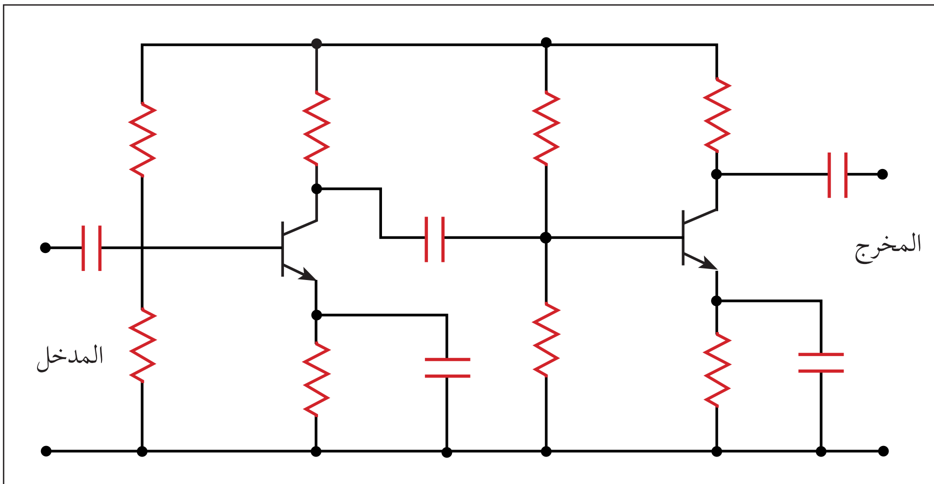
تحتاج بعض الأجهزة الالكترونية لإحداث تضخيم عال جداً على الإشارات تصل إلى مئات أو آلاف المرات، و لا يوجد أي ترانزستور يستطيع عمل ذلك التضخيم، ولكن يمكن عمل تضخيم كبير عن طريق مراحل عدة بحيث يتم تضخيم الإشارة في المرحلة الأولى ثم تدخل على مرحلة تضخيم أخرى، وهكذا إلى أن يتم الحصول على التضخيم المطلوب . وتسمى هذه الطريقة التضخيم التعاقبي Cascaded Amplifiers ويسمى كل جزء من الدارة الكلية مرحلة Stage . ويتم حساب الكسب النهائي للدارة بالمعادلة التالية :

الكسب الكلي = كسب مرحلة التضخيم الأولى x كسب مرحلة التضخيم الثانية x . . . .

و من طرق الربط .

١ طريقة الربط باستخدام مكثف و مقاومة

- يتم ربط مخرج المرحلة الأولى بمدخل المرحلة الثانية بواسطة مكثف لاحظ شكل (٢٣).

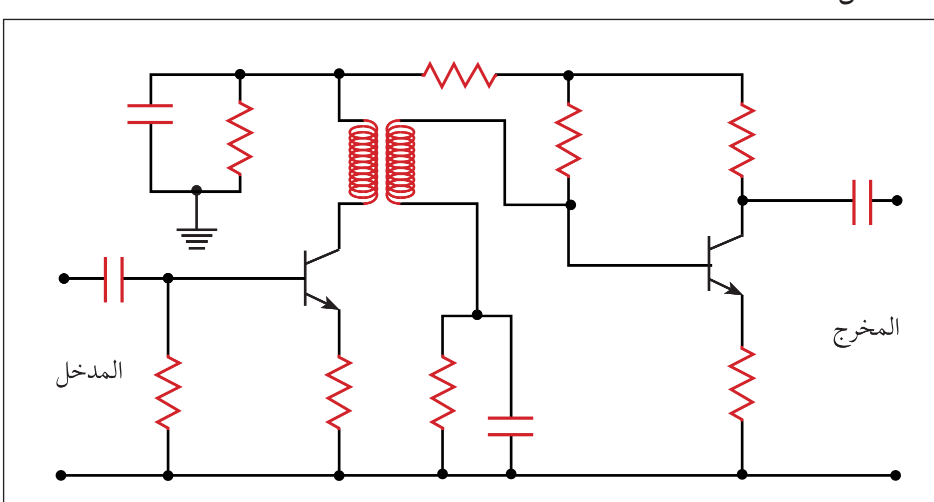


شكل (٢٣): الربط باستخدام مكثف ومقاومة

- يعمل المكثف على منع الفولطية المباشرة (المستمرة DC) على مجمع الترانزستور الأول من الوصول إلى قاعدة الترانزستور الثاني .
- يسمح المكثف بتوصيل الإشارة المكبرة من مجمع الترانزستور الأول إلى قاعدة الترانزستور الثاني .
- لكي لا يعيق المكثف الإشارة التي تمر يجب أن يبدي مقاومة قليلة جداً . لذلك يستخدم مكثف ذو سعة كبيرة حتى لا يعيق مرور الإشارة المتناوبة .
- يؤمن المكبر المربوط سعوياً تكبيراً عالياً على مجال ترددي واسع . إلا أن هناك حدوداً عليا و دنيا للمجال الترددي، وهذه الحدود تعتمد على سعة المكثف و المواصفات الترددية للترانزستور .

٢ طريقة الربط باستخدام محول .

- يتم في هذه الطريقة ربط مخرج المرحلة السابقة بمدخل المرحلة التالية باستخدام محول كما في الشكل (٢٤) .



شكل (٢٤): الربط باستخدام محول

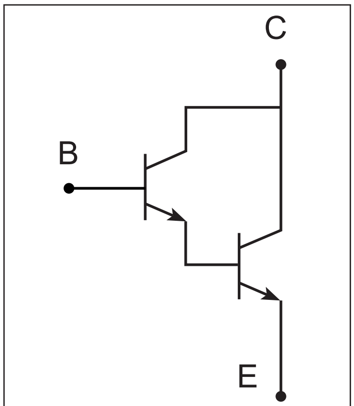
- يمكن الحصول على ربط مثالي بتغيير نسبة لفات المحول، وبالتالي على تحويل أكبر كمية من الطاقة .
- الميزة الأساسية للربط باستخدام محول هي إمكانية توفيق ممانعة المراحل مع بعضها .
- من مساوئ استخدام المحول في الربط :-

أ- كبر الحجم .　　ب- ثقل الوزن

جـ- ارتفاع الثمن (مقارنة مع المكثف)　　د- المجال الترددي محدود (ضيق) .

٣ طريقة الربط المباشر .

- يتم فيها ربط مخرج المرحلة السابقة بمدخل المرحلة التالية مباشرة .
- تستخدم هذه الطريقة في مكبرات الترددية المنخفضة جداً .
- يبين الشكل (٢٥) طريقة الربط المباشر و تسمى هذه الدارة – دار لنجتون – .
- من ميزات دارة دارلنجتون :-



شكل (٢٥) : دارلنجتون

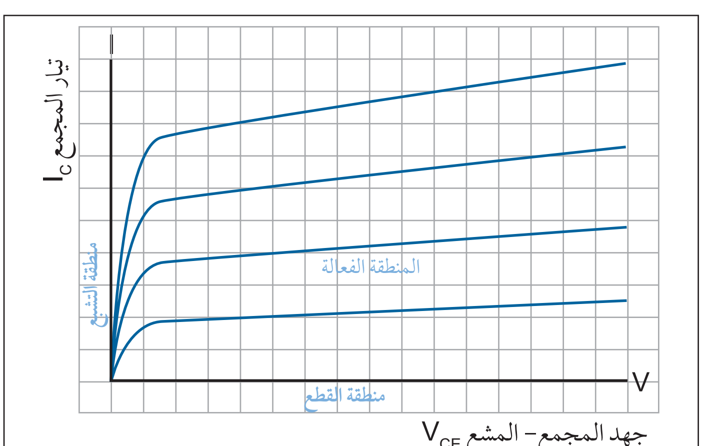
أ- يتصل مجمعهما معاً، حيث يتصل باعث الأول بقاعدة الثاني .

ب- يعمل الترانزستور الثاني بتيار مجمع أعلى بكثير من تيار الأول، لذلك تكون مواصفات الترانزستور الأول ترانزستور إشارة صغيرة عالي الكسب، بينما يكون الثاني ترانزستور بكسب متوسط قادر على تحمل تيار المجمع العالي نسبياً (ترانزستور قدرة) .

جـ- بعض الشركات المصنعة للترانزستور تصنع ترانزستورات دارلجنتون متكاملة تأتي على شكل ترانزستور تقليدي له ثلاثة أطراف .

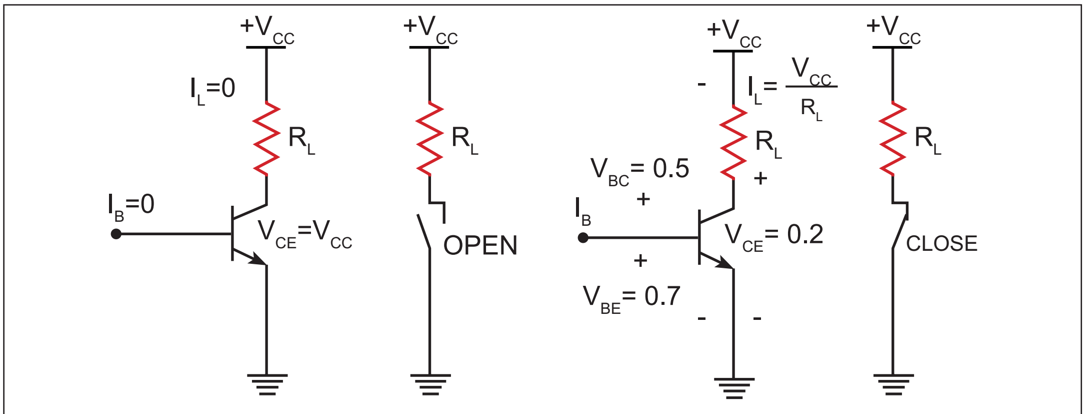
المفتاح الترانزستوري

لقد تم التعرف من خلال منحنى الخواص للترانزستور على مناطق التشغيل للترانزستور الثلاثة و هي القطع والفعالة والتشبع . كما هو موضح في الشكل (٢٦) . وتبين أن الترانزستور يعمل مضخماً في المنطقة الفعالة .



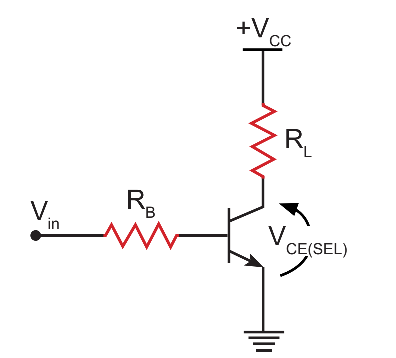
شكل (٢٦) : مناطق عمل الترانزستور

عندما يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والتشبع فإنه يتصرف كمفتاح يؤدي إلى وصل دارات الأحمال وفصلها ويوضح الشكل (٢٧) الدارة المكافئة بإستخدام المفتاح الميكانيكي .



شكل (٢٧) : المفتاح الترانزستوري

يمكن تلخيص حالتي القطع والتشبع فيما يلي : الشكل (٢٨)



شكل (٢٨)

١ عند تطبيق فولطية الدخل Vin يسري تيار في دارة القاعدة للترانزستور و عندما يكون هذا التيار أكبر من أو يساوي تيار التشبع تنخفض فولطية مجمع الترانزستور إلى 0.2 فولط تقريباً، وتكون فولطية المصدر مطبقة بكاملها على الحمل .

٢ عند انخفاض فولطية الدخل إلى الحد الذي لا يسمح بمرور تيار بقاعدة الترانزستور يتحول إلى حالة قطع و ترتفع فولطية مجمعه لتصبح مساوية لفولطية المصدر، و في هذه الحالة لا يوجد تيار يسري في الحمل و يكون الجهد على أطرافه مساوياً للصفر .

٣ من الملاحظ أن القدرة المبددة في الترانزستور عند عمله كمفتاح تكون قليلة نسبياً، ففي منطقة القطع يكون تيار المجمع صغيراً جداً، أما في منطقة التشبع فيكون فرق الجهد بين المجمع و الباعث صغيراً .

تحليل الدارة

يمكن تحليل الدارة و كتابة المعادلات التي تحكم عملها في حالة التوصيل على النحو التالي :-

١- بالنسبة إلى المجمع الباعث (الخرج) .

كيرشوف للجهد :

$$V_{CC} = I_C \times R_L + V_{CE}$$

في حالة التشبع تصبح .

$$V_{CC} = I_C \times R_L + 0.2$$

حيث يكون تيار المجمع التشبعي

$$I_{C(SAT)} = \frac{V_{CC} - 0.2}{R_L}$$

٢- بالنسبة إلى القاعدة الباعث

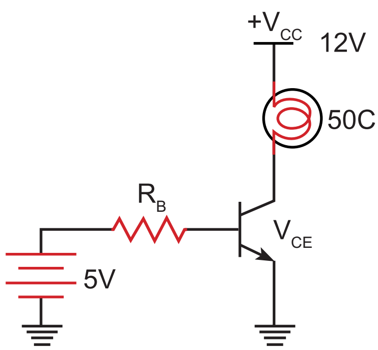
$$V_{in} = I_B \times R_B + V_{BE}$$

في حالة التشبع تصبح .

$$V_{in} = I_B \times R_B + 0.7$$

حيث يكون تيار القاعدة التشبعي

$$I_{B(SAT)} = \frac{V_{in} - 0.7}{R_B}$$



شكل (٢٩) : مثال ١

وتعطى العلاقة بين تيار المجمع والقاعدة بالمعادلة :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

حيث β : كسب التيار في حالة التشبع أقل من قيمة كسب التيار في منطقة الفعالة ، وعادة تكون نصف قيمة كسب التيار المعطى في لوحة البيانات .

مثال (١):

احسب قيمة المقاومة R_B في الدارة المبينة في الشكل (٢٩) . إذا كان $\beta = 10$

الحل:

من المعروف في حالة التشبع يكون $V_{CE} = 0.2\ V$ و $V_{BE} = 0.7\ V$

حيث يكون I_C :

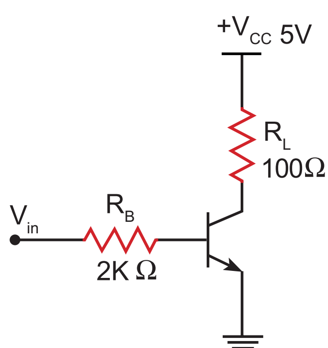
$$I_{C(SAT)} = \frac{V_{CC} - 0.2}{R_L} = \frac{12 - 0.2}{50} = 0.236A$$

و يمكن حساب تيار التشبع من معامل كسب التيار $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.236}{10} = 23.6mA$$

و عليه تكون قيمة المقاومة RB :

$$R_B = \frac{V_{in} - 0.7}{I_B} = \frac{5 - 0.7}{23.6m} = 182.2\Omega$$



شكل (٣٠) : مثال ٢

مثال (٢):

احسب قيمة جهد الدخل V_{in} اللازم لوضع الترانزستور في حالة التشبع في الدارة المبينة في الشكل (٣٠) .
إذا كان معامل الكسب يساوي $\beta = 15$

الحل :

يمكن حساب تيار المجمع :

$$I_{C(SAT)} = \frac{V_{CC} - 0.2}{R_L} = \frac{5 - 0.2}{100} = 49.8 = 5mA$$

و يكون تيار القاعدة :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{50\ m}{15} = 3.3mA$$

و يتم حساب جهد الدخل كما يلي :

$$V_{in} = I_B \times R_B + 0.7$$

$$= 3.3m \times 2\ k + 0.7$$

$$V_{in} = 7.3\ V$$

مثال (٣):

يراد تشغيل مرحل مقاومته 200Ω يعمل على جهد 12V من دارة الكترونية مخرجها 5V . مع العلم أن معامل الكسب يساوي $\beta = 20$

الحل :

المطلوب حساب قيمة المقاومة R_B .

بالرجوع إلى شكل (٣٠) المثال (١) واتباع نفس الخطوات

$$I_{C(SAT)} = \frac{V_{CC} - 0.2}{R_L} = \frac{12 - 0.2}{200} = 59mA$$

و يمكن حساب تيار التشبع من معامل كسب التيار $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{59m}{20} = 2.95mA$$

وعليه تكون قيمة المقاومة RB:

$$R_B = \frac{V_{in} - 0.7}{I_B} = \frac{5-0.7}{2.95m} = 1.46K\Omega \approx 1.5K\Omega$$

تحسين دارة المفتاح الترانزستوري :

يمكن تحسين دارة المفتاح الترانزستوري بإضافة عنصر أو أكثر ، ويهدف ذلك إلى تحسين أداء الدارة في التطبيقات المختلفة و من هذه التعديلات : -

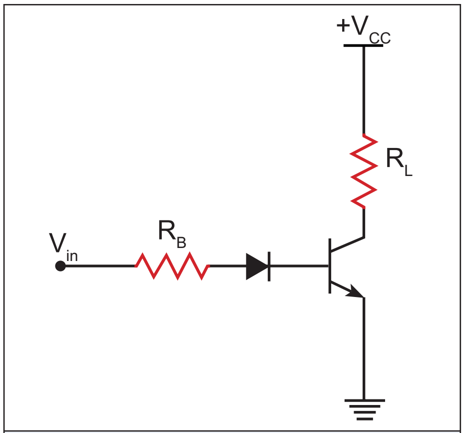
١ التعديل بهدف ضمان عمل الترانزستور في منطقة القطع :

لضمان عمل الترانزستور في حالة المفتاح الترانزستوري مع توفير جهد ذو هامش للتغير للحفاظ على العمل . فعند انخفاض فولطية الدخل V_{in} بحث يكون تيار القاعدة أكبر قليلاً من الصفر ، فإن الترانزستور لا ينتقل إلى منطقة القطع ، بل يكون في المنطقة الفعالة . و يمكن التخلص من هذه الفولطيات الصغيرة بطريقتين :

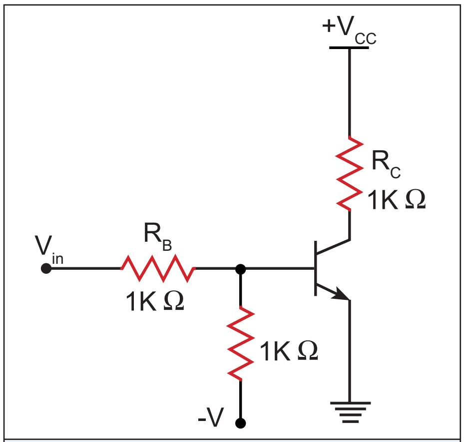
أ- إضافة الثنائي إلى قاعدة الترانزستور كما في الشكل (٣١) و بهذه الطريقة يتم منع الفولطيات المنخفضة من تشغيل الترانزستور و يتم ضمان إطفائه ، ولكن يجب تعويض الجهد على الثنائي في فولطية الدخل .

ب- إضافة مقاومة مع فولطية سالبة إلى دارة القاعدة كما هو موضح في الشكل (٣٢) .

حيث تعمل هذه الإضافة على استمرارية الترانزستور في حالة القطع ، وذلك من خلال فولطية سالبة على القاعدة حتى وإن كانت فولطية الدخل أكبر من الصفر ، أما عند ارتفاع فولطية الدخل ، فإن فولطية القاعدة تصبح موجبة مما يترتب عليه انتقال الترانزستور إلى حالة التوصيل التام - التشبع - .



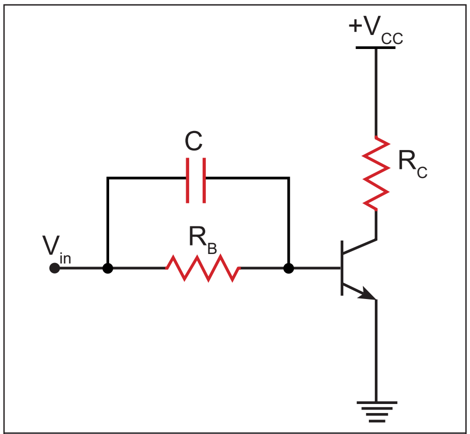
شكل (٣١) : اضافة ثنائي



شكل (٣٢) : اضافة مقاومة مع جهد سالب

٢ التعديل بهدف تحسين الاستجابة :

يمكن تحسين الاستجابة لتغيرات إشارة الدخل V_{in} عن طريق إضافة المواسع C لزيادة استجابة دارة المفتاح في حالتي الوصل و الفصل كما هو مبين في الشكل (٣٣) .



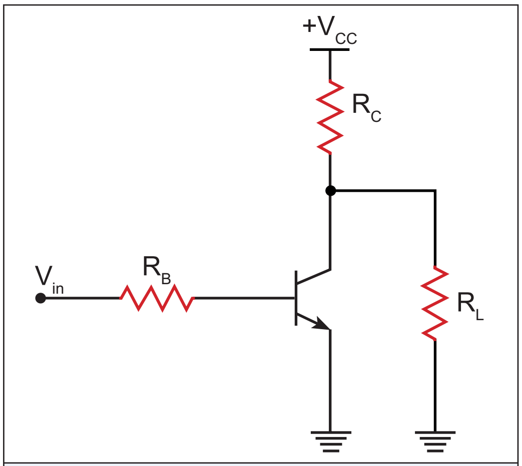
شكل (٣٣) : تحسين الاستجابة

توصيل الأحمال مع المفتاح الترانزستوري

يمكن توصيل الأحمال بالترانزستور بعدة طرق منها :

١ بالتوالي مع الترانزستور كما مر سابقاً في الشكل (٢٤) . يتم في هذه الطريقة تشغيل الحمل بتشغيل الترانزستور ، و قد تمت مناقشة هذا الأسلوب فيما سبق .

٢ وصل الحمل بالتوازي مع الترانزستور كما هو موضح في الشكل (٣٤) . يتم في هذه الطريقة وصل الحمل بمصدر الفولطية V_{CC}، عندما يكون الترانزستور في حالة القطع ، في حين يفصل الحمل عن مصدر التغذية عندما يصبح الترانزستور في حالة الإشباع . و بذلك فإن الدارة في هذه الحالة تعاكس الدارة السابقة في عملها .



شكل (٣٤) : شكل آخر للمفتاح الترانزستوري

عندما يكون الترانزستور في حالة القطع فإن جهد الحمل لا يساوي جهد المصدر بل يعطى بالعلاقة التالية :

$$V_o = V_{CC}\frac{R_L}{R_L+R_C}$$

تطبيقات المفتاح الترانزستوري

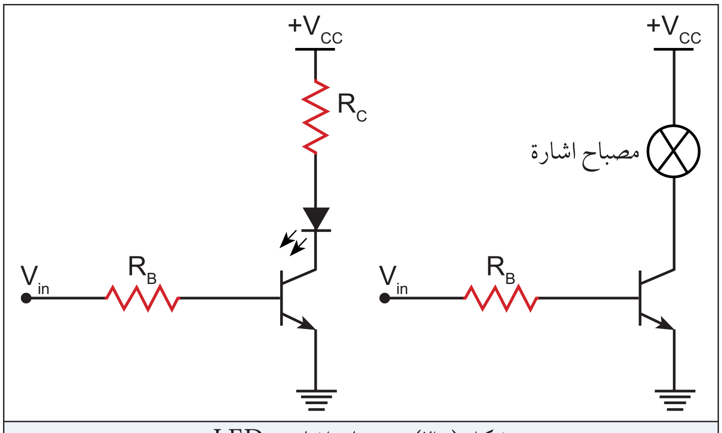
للمفاتيح الترانزستورية تطبيقات واسعة من أهمها :-

١ **تشغيل مصباح الإشارة و LED** .

يبين الشكل (٣٥) دارة تحكم في تشغيل مصباح اشارة ودارة ثنائي مشع LED . بحيث عند توفر جهد V_{in} (جهد بسيط يستطيع نقل الترانزستور إلى التشبع) يمر تيار في المصباح أو LED فيعمل المواءمة ربط دارات ذات مستويات فولطية مختلفة .

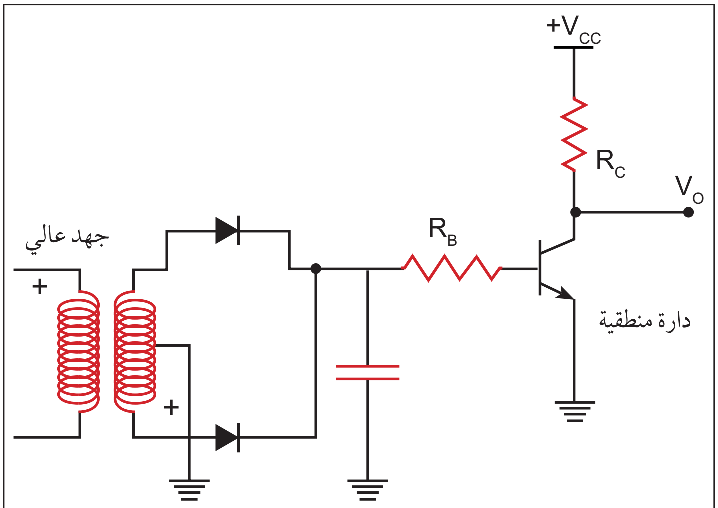
٢ **ربط دارات الدخل مع الدارات المنطقية.**

تعمل معظم الدارات الإلكترونية بما فيها الدارات المنطقية على فولطيات منخفضة بينما تعمل دارات الأحمال بمختلف أنواعها على فولطيات متوسطة أو عالية نسبياً، ولربط هذه الدارات بالدارات الالكترونية لا بد من تحقيق المواءمة بينها و يستخدم لهذا الغرض دارات خاصة تسمى دارات المواءمة و يعد المفتاح



شكل (٣٥) : مصباح اشارة و LED

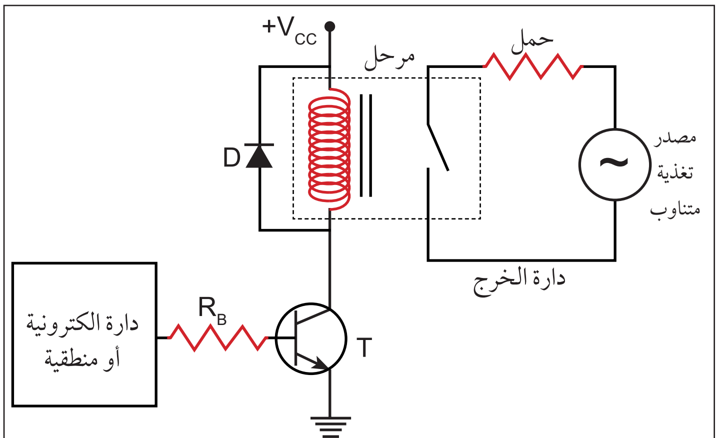
الترانزستوري من أبسط دارات المواءمة، المستخدمة عملياً و يبين الشكل (٣٦) دارة ربط دارة الدخل ذات جهد عالٍ 220V AC مع دارة المنطقية .



شكل (٣٦) : دارة موائمة

٣ ربط دارات منطقية مع الأحمال باستخدام المرحل:

يبين الشكل (٣٧) دارة مواءمة باستخدام ترانزستور و مرحل حيث يتحكم بالحمل عن طريق الترانزستور والمرحل (relay)، تعمل الدارة المنطقية (أو الالكترونية) على توصيل المفتاح الترانزستوري، مما يؤدي إلى مرور تيار المجمع بملف المرحل، وينتج عن ذلك غلق ملامسات المرحل ثم مرور تيار بدارة الحمل .



شكل (٣٧) : المواءمة باستخدام مرحل

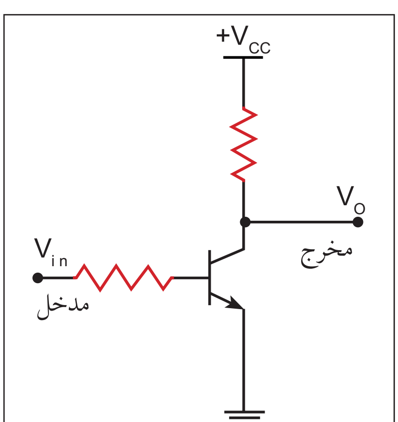
لماذا يستخدم الترانزستور هنا ؟

إن ملف المرحل يحتاج إلى تيار عالٍ لا تستطيع الدارات المنطقية توفيره، لذلك يستخدم الترانزستور لتضخيم تيار دارة التحكم (الدارة الالكترونية أو المنطقية) بحيث يمكن أن يعمل المرحل على توصيل دارة الحمل بشكل فعال . و يعمل الثنائي الموصول بالتوازي مع المرحل على حماية الدارة من التيارات الراجعة عند القطع المفاجئ للترانزستور .

٤ البوابات المنطقية :

يمكن الاستفادة من حالة الوصل و الفصل للترانزستور في عمل الدارت المنطقية حيث تعتبر حالة الوصل الحالة المنطقية 1 و تكون حالة الفصل الحالة المنطقية 0 .

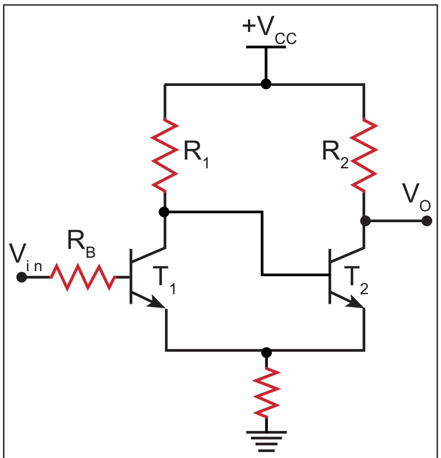
من الأمثلة على ذلك الدارة المنطقية «لا NOT» حيث تكون حالة المخرج معاكسة لحالة المدخل ويوضح الشكل (٣٨) الدارة المنطقية لا Not باستخدام الترانزستور .



شكل (٣٨) : لا Not

٥ دارة تشكيل النبضات الكهربائية (قادح شميت Schmitt Trigger)

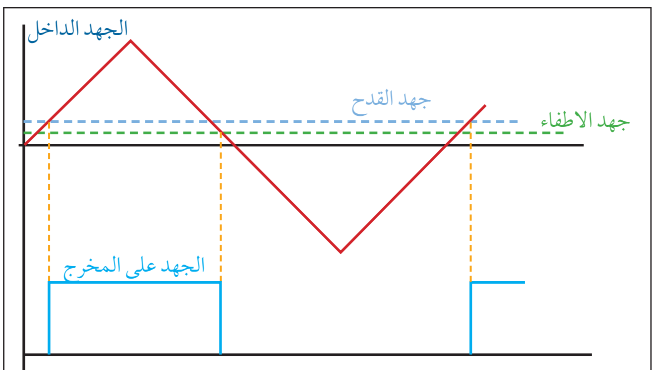
هي دارة تستخدم لإعادة تشكيل النبضات الكهربائية ذات الحافات غير الحادة مما يمكن الحصول على موجات مربعة أو مستطيلة بغض النظر عن شكل موجة الدخل الأصلية . و يبين الشكل (٣٩) تركيب الدارة .



شكل (٣٩) : قادح شميت

مبدأ العمل : عند غياب إشارة المدخل V_{in} أو انخفاض في جهد القدح يكون الترانزستور T_1 في حالة قطع وترتفع فولطية مجمعه ، مما يؤدي إلى عمل الترانزستور T_2 بحيث يصبح في حالة الوصل . فيكون جهد الخرج يساوي تقريباً الصفر .

وعند ارتفاع فولطية المدخل V_{in} (بحيث تكون أكبر من فولطية القدح للترانزستور T_1 يصبح الترانزستور T_1 في حالة التوصيل وتنخفض فولطية مجمعه ، مما يؤدي إلى فصل الترانزستور T_2 وتحوله القطع ، فيكون جهد الخرج يساوي جهد المصدر . وهكذا .



شكل (٤٠)

فتكون فولطية الخرج بين قيمة عظمى هي V_{cc} وقيمة صغرى تقريباً صفر . ويوضح الشكل (٤٠) مثال على إشارة الدخل و كيف تكون إشارة الخرج .

(٢) ترانزستور تأثير المجال: Field Effect Transistor

يتناول هذا الباب ترانزستور تأثير المجال (FET) من حيث تركيبه ، وأنواعه ، وظروف تشغيله ، وطرق توصيله المختلفة ومميزة كل وصلة واستعمالاتها .

ويتوقع منك بعد دراسة هذا الباب أن تصبح قادراً على أن :

١. مميزات وأنواع ترانزستور تأثير المجال

سبق أن أشرنا إلى أن هناك أنواع عديدة من الترانزستورات ، وقد شرحنا بالتفصيل ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية (BJT) ، وسنشرح هنا نوع آخر هو ترانزستور تأثير المجال (Field Effect Transistor) أو اختصاراً (FET) اكتشف هذا الترانزستور من قبل العالم شوكلي عام ١٩٥٢ ، إلا أن استعمال هذا الترانزستور لم يتحقق إلا في عام ١٩٦٢ وذلك بسبب عدم توفر الإمكانيات التكنولوجية والتقنية في ذلك الوقت .

ترانزستور تأثير المجال هو عنصر ذو ثلاثة أطراف هي : المنبع (S0URCE) والمصرف (DRAIN) والبوابة

(GATE)وهذه الأطراف تقابل الباعث والمجمع والقاعدة، على الترتيب، في الترانزستور العادي.

على كل حال، ان التيار بين المنبع والمصرف في ترانزستور تأثير المجال تتحكم فيه الفولطيه المطبقة على البوابة، في حين يتحكم بالتيار بين الباعث والمجمع تيار القاعدة. أي أن الترانزستور FET يتحكم فيه بالجهد (الفولطية)، بينما الترانزستور العادي يتحكم فيه بالتيار.

يعرف ترانزستور تأثير المجال بالترانزستور أحادي القطبية تميزا له عن الترانزستور ثنائي القطبية، لأن التيار المار خلاله يتكون من نوع واحد من حاملات الشحنة، وهي الالكترونات في ترانزستور تأثير المجال بالقناة السالبة، أو الفجوات في ترانزستور تأثير المجال بالقناة الموجبة، بينما ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية والذي تم شرحه نجد أن التيار المار خلاله يتكون من كلا النوعين الالكترونات والفجوات.

كما يمتاز ترانزستور تأثير المجال على الترانزستور العادي بما يلي:

١ يبدي مقاومة مدخل عالية (عدة ميجا أوم)، لأنه يعتمد على فولطية المدخل بعكس ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية الذي يعتمد على تيار المدخل.

٢ تصنيعه أسهل، ويحتل مساحة أصغر في الدارات المتكاملة.

٣ مستوى الشوشرة منخفض بالمقارنة مع ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية.

٤ لا يتأثر بالحرارة مثل ترانزستور الوصلة ثنائي القطبية.

هناك صنفان رئيسيان من ترانزستورات تأثير المجال وهما:

١ ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة. (Junction FET:JFET)

٢ ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني (MOSFET): هذا الاسم يعود إلى بنية الترانزستور، حيث يتكون من ثلاث طبقات: طبقة معدنية (Metal)، طبقة من أكسيد السيليكون (Oxide)، طبقة نصف موصل (Semiconductor).

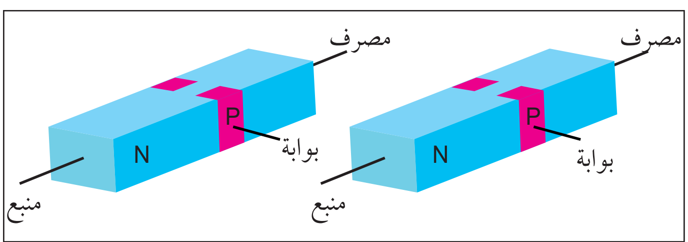
وسندرس في الفقرات التالية كلا النوعين.

٢. ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة

يوجد صنفان رئيسيان من ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة (JFET) وذلك حسب تكوين هذه الترانزستورات، كما يوضح الشكل (١)، وهما:

❶ ترانزستور JFET بالقناة السالبة. (N)

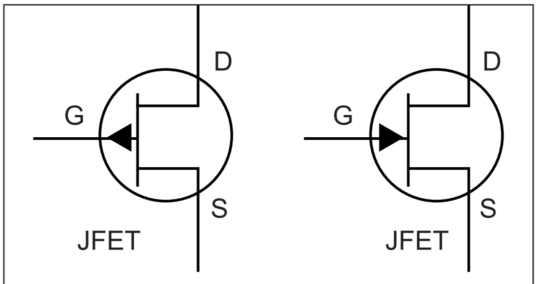
❷ ترانزستور JF ET بالقناة الموجبة. (P)



الشكل (٤١): تركيب ترانزستور(JFET)

ويبين الشكل (٤١) التركيب الأساسي للترانزستور JFET بالقناة السالبة (N) ويتكون من شريحة من النوع (N)، تتصل بها أسلاك المنبع (S: Source)والمصرف (D: Drain)تدعى هذه الشريحة باسم القناة (Channel)

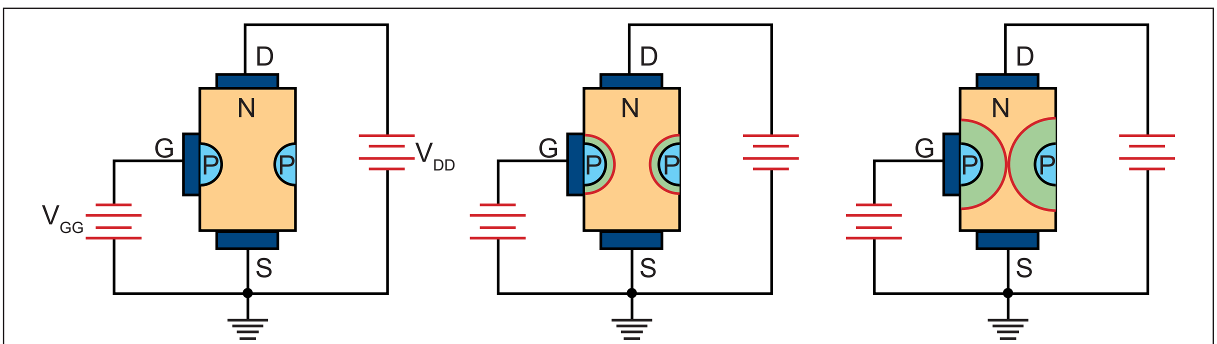
ويجري عبرها تيار الإلكترونات من المنبع إلى المصرف . ينشر على جانبي شريحة القناة وبعمق معين مادة من النوع (P)، يتصل بها طرف سلكي يسمى البوابة (**G**: Gate)، وهكذا تتشكل وصلة (PN) بين مادة البوابة (P) ومادة القناة و (N). يبين الشكل (١) أيضاً التركيب الأساسي لترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة بالقناة الموجبة (P)، إذ أن مادة القناة من النوع (P) ومادة البوابة من النوع (N) .



الشكل (٤٢) : الرموز التخطيطية لترانزستور JFET

ويبين الشكل (٤٢) رمز ترانزستور JFET، وتلاحظ أن رأس السهم على سلك البوابة يتجه داخل الترانزستور بالقناة السالبة، ويتجه خارج الترانزستور بالقناة الموجبة . ونذكر القارئ بأن رأس السهم يشير دائماً إلى المادة من النوع (N)، تماماً كما هو الحال في الترانزستور العادي والثنائي . ويكون السهم في منتصف الخط العامودي الذي يمثل القناة، أو على طرف القناة بالقرب من طرف المنبع .

ولتوضيح مبدأ عمل الترانزستور JFET، يبين الشكل (٤٣)، فولطيات الانحياز للترانزستور JFET بالقناة السالبة، حيث يؤمن مصدر الفولطية (V_{DD}) الفولطية بين المصرف والمنبع، مما يؤدي إلى جريان تيار المصرف (I_D) عبر القناة من المنبع إلى المصرف . ويوفر مصدر الفولطية (V_{GG}) فولطية الانحياز العكسي لوصلة البوابة المنبع .



الشكل (٤٣) : عمل الترانزستور JFET للقناة السالبة مع تغير لجهد VGG .

الفولطية السالبة على البوابة تؤدي إلى توليد منطقة استنزاف عازلة (خالية من الالكترونات الحرة) في القناة، فيقل عرض القناة وتزداد مقاومتها لتيار المصرف (I_D) . وهكذا يتبين أن تيار المصرف (I_D) المار عبر القناة محكوم بمقدار الانحياز العكسي على وصلة البوابة . وفي الحقيقة يمكن زيادة فولطية البوابة حتى تغطي منطقة الاستنزاف القناة N بأكملها، وبذلك يتوقف جريان التيار عبر القناة .

بينما كانت المناقشة السابقة تناولت عمل الترانزستور JFET بالقناة السالبة، فإن عمل الترانزستور JFET بالقناة الموجبة مماثل له تماماً، والفرق الوحيد هو في فولطية الانحياز الموجبة اللازمة لجعل انحياز وصلة البوابة المنبع عكسية، كما أن تيار المصرف في القناة يسببه جريان الثقوب الموجبة الشحنة .

٣. ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني MOSFET

يطلق أيضا على هذا الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (Insulated Gate FET)،

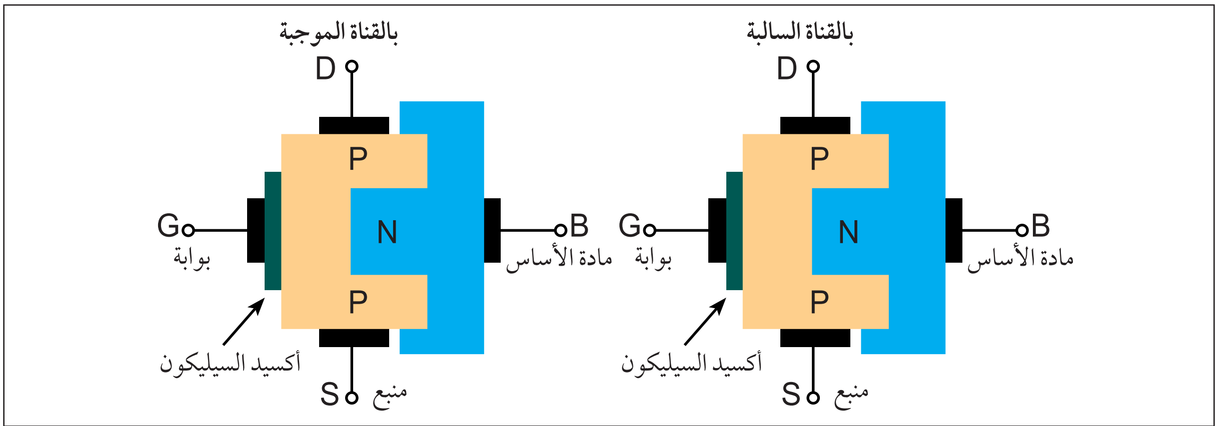
لأن بوابة الترانزستور المعدنية تكون معزولة عن القناة بطبقة عازلة من أكسيد السيليكون، مما يجعل مقاومة دخل هذا الترانزستور عالية جداً. وهناك نوعان من ترانزستور MOSFET، وهما:

أ. ترانزستور MOSFETالاستنزافي. (Depletion Mode MOSFET :**DEMOSFET**)

ب. ترانزستور MOSFETالتعزيزي. (Enhancement Mode MOSFET :**EMOSFET**)

أ. ترانزستور MOSFET الاستنزافي :(DEMOSFET)

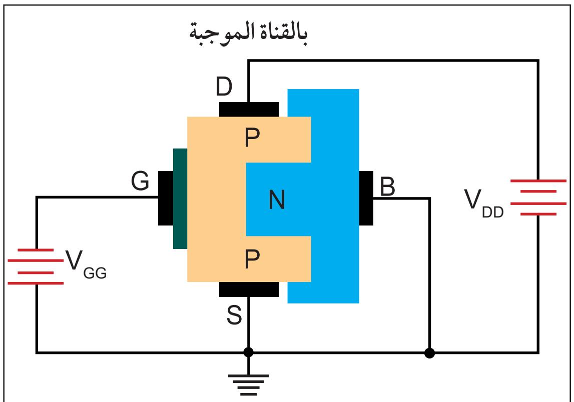
ويبين الشكل (٤٤) بناء الترانزستور DEMOSFT بالقناة السالبة (N)، وبناء الترانزستور DEMOSFETبالقناة الموجبة(P). ونلاحظ أن المنبع والمصرف منتشر في مادة الأساس للترانزستور، ويتصل المنبع والمصرف مع بعضهما بقناة ضيقة ملامسة للبوابة المعزولة، ونلاحظ من الشكل أن البوابة معزولة عن القناة بطبقة من ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2). فالقناة والبوابة تشكلان لوحي مواسع، ويشكل أكسيد السيليكون الطبقة العازلة بينهما.



الشكل (٤٤): تركيب ترانزستور MOSFETالاستنزافي.

وسنتعرف هنا على مبدأ عمل ترانزستورMOSFET الاستنزافي بالقناة السالبة، إذ لا يختلف عن مبدأ عمل ترانزستور MOSFET الاستنزافي بالقناة الموجبة سوى أن فولطيات الانحياز تكون معكوسة.

أثناء التشغيل المعتاد للترانزستور MOSFETالاستنزافي بالقناة السالبة تطبق فولطية سالبه على المنبع وفولطية موجبة على المصرف، مما يؤدي إلى جريان تيار خلال القناة من المنبع إلى المصرف، لاحظ الشكل (٤٥).

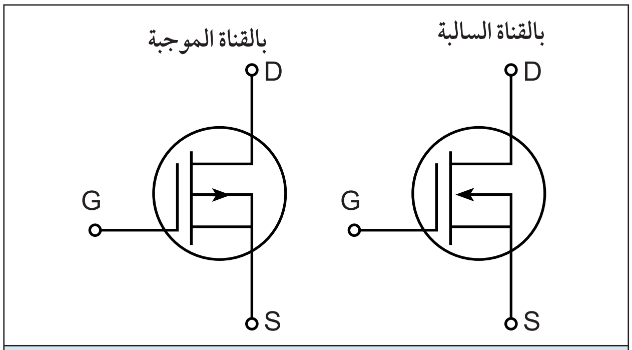


الشكل (٤٥): تركيب ترانزستور MOSFETالاستنزافي.

إذا طبقت فولطية سالبة على البوابة، فإن الشحنة السالبة على البوابة سوف تدفع الالكترونات السالبة في القناة إلى منطقة الأساس الموجبة، نتيجة قوة التنافر بين تلك الالكترونات في القناة والشحنات السالبة على البوابة. ويسبب ذلك استنزافاً للإلكترونات في القناة، فتزيد مقاومة تلك القناة، ويقل التيار الذي يسري من مصدر الفولطية الموجب إلى المصرف ثم المنبع، وزيادة الفولطية السالبة على البوابة، يؤدي إلى زيادة مقاومة القناة ونقصان التيار وهكذا، وتعرف هذه الحالة بحالة

الاستنزاف للترانزستور .

أما إذا وصلت فولطية موجبة بالبوابة بدلاً من الفولطية السالبة . فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الالكترونات في القناة فتزداد موصليتها (تقل مقاومتها) وبذلك يزداد التيار الجاري بين المصرف والمنبع . وتعرف هذه الحالة بالحالة التعزيزية للترانزستور . وعلى هذا فإن التيار بين المنبع والمصرف في ترانزستور MOSFET الاستنزافي يكون محكوماً بالفولطية السالبة أو الموجبة المطبقة على البوابة .



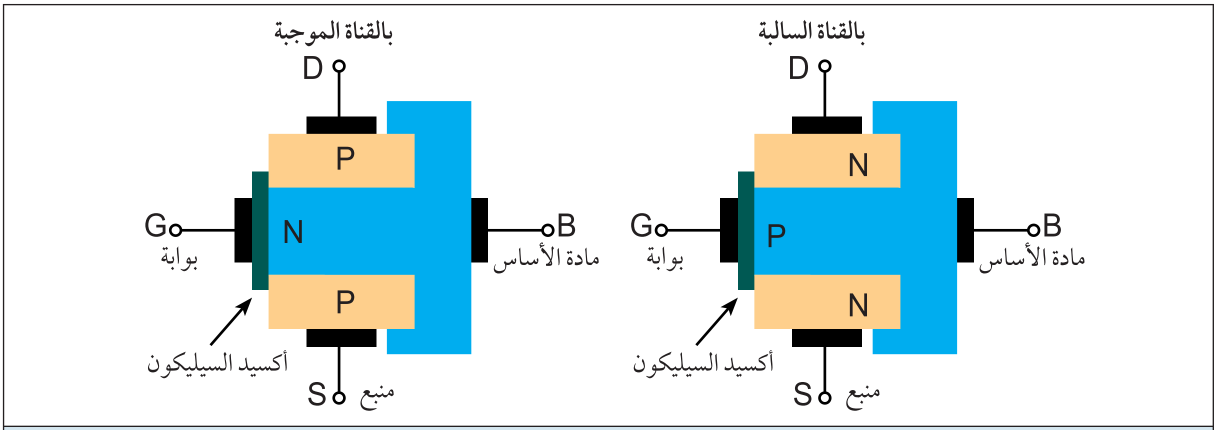
الشكل (٤٦) : الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET الاستنزافي

يبين الشكل (٤٦) الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET الاستنزافي . لاحظ أن البوابة تظهر معزولة عن القناة ، ويميز طرف مادة الأساس بواسطة السهم ، وكما هو الحال دائماً يشير السهم نحو المادة السالبة (N) حيث أن اتجاه السهم يكون إلى داخل الترانزستور بالقناة السالبة ويكون إلى خارج الترانزستور بالقناة الموجبة .

في الترانزستور المبين نلاحظ أن طرف مادة الأساس موصول مع طرف المنبع من الداخل ، إلا أنه في بعض الترانزستورات يكون طرف مادة الأساس منفصلاً .

ب . ترانزستور MOSFET التعزيزي : (EMOSFET)

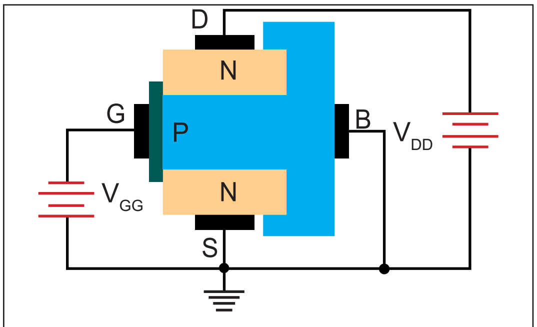
يختلف ترانزستور MOSFET التعزيزي في بنائه عن ترانزستور MOSFET الاستنزافي في أنه لا يحتوي على قناة فيزيائية . ونلاحظ من الشكل (٤٧) أن مادة الأساس تمتد لغاية المادة الفاصلة على البوابة (أكسيد السيليكون) ، ونلاحظ من الشكل كيفية بناء هذا الترانزستور ، ففي الوضع الطبيعي ، لا يسري تيار بين المنبع والمصرف إلا بعد أن تتشكل قناة وهمية بين المنبع والمصرف على خلاف ترانزستور MOSFET الاستنزافي الذي يحتوي على قناة فيزيائية ضمن بنائه باستمرار .



الشكل (٤٧) : تركيب ترانزستور يزيزعتلا MOSFET .

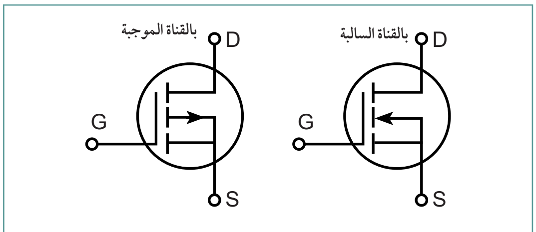
عند تطبيق فولطية موجبة على البوابة كما هو مبين في الشكل (٤٨) ، فإن هذه الفولطية تجذب الالكترونات السالبة من مادة الأساس نحو البوابة ، وتصبح المنطقة المحاذية للبوابة غنية بالالكترونات ، وتصبح كأنها امتداد

للمادة (N) بين المصرف والمنبع مشكلة قناة وهمية، مما يسمح بسريان التيار بين المنبع والمصرف من خلال هذه القناة. وتؤدي زيادة الفولطية على البوابة إلى زيادة عرض القناة الوهمية، وزيادة تدفق التيار الكهربائي خلال القناة.



الشكل (٤٨): عمل الترانزستور التعزيزي MOSFET

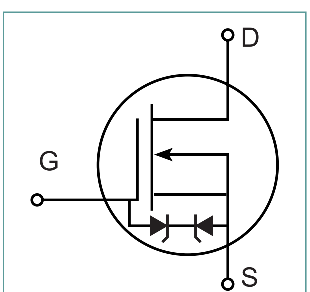
يبين الشكل (٤٩) الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET التعزيزي، لاحظ أنه تم تمثيل القناة الوهمية بخط متقطع، في حين تم تمثيل القناة في الترانزستور الاستنزافي بخط صلب متصل.



الشكل (٤٩): الرمز التخطيطي لترانزستور MOSFET التعزيزي.

هناك مشكلة تواجهنا في ترانزستور MOSFET ألا وهي تطبيق فولطية عالية نسبياً على بوابة الترانزستور قد تثقب الطبقة العازلة الرقيقة، مما يؤدي إلى تلف الترانزستور، ونظرا لمقاومة البوابة العالية جداً، فإن مجرد تطبيق شحنة ساكنة من روؤس أصابعك تستطيع أن تخترق طبقة الأكسيد. وكاحتياط أمان تقوم الشركات الصانعة بواصل أطراف الترانزستور معا بشكل مؤقت للمحافظة عليه أثناء التداول، ويتم ذلك بغرس أطراف الترانزستور بقطعة من المطاط الموصل. وكذلك الحال بالنسبة للدارات المتكاملة التي تصنع بتقنية MOSFET.

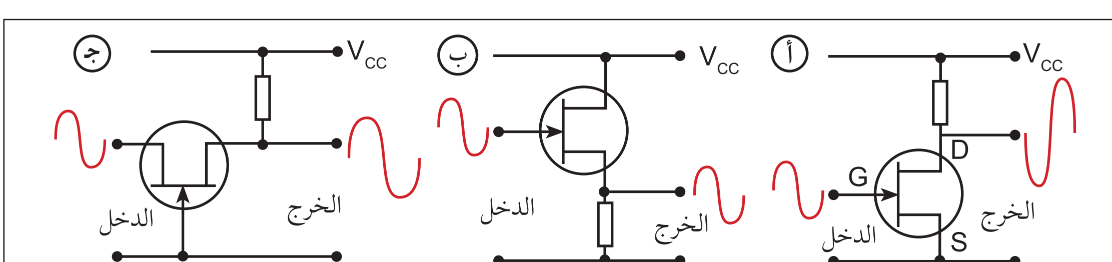
هناك طريقة أخرى لحماية ترانزستور MOSFET من الشحنات الساكنة وهي ربط دايودي زينر ظهرا لظهر بين طرفي توصيل البوابة. يتم عمل ذلك داخليا كما هو مبين في الشكل (٥٠) وهكذا نضمن أن الفولطيه المطبقة على البوابة لن تتجاوز فولطية الزينر أبداً، حيث تقوم دايود الزينر بالتوصيل لدى بلوغ البوابة فولطية الزينر.



الشكل (٥٠): حماية ترانزستور MOSFET من الشحنات الكهربائية الساكنة.

٤. دارات ترانزستورات تأثير المجال:

تستعمل ترانزستورات تأثير المجال FET، كما تستعمل الترانزستورات العادية، للحصول على التضخم بشكل أساسي. وهي كالترانزستورات العادية، يمكن أن توصل بثلاث دارات مختلفة، تظهر هذه الدارات الثلاث في الشكل (٥١)، وهي:



الشكل (٥١): دارات ترانزستورات تأثير المجال.

أ. **دارة المنبع المشترك :**

هي أكثر دارات ترانزستور تأثير المجال المستعملة انتشاراً، وتناظر دارة الباعث المشترك. تطبق إشارة الدخل بين البوابة والمنبع وتظهر إشارة الخرج بين المصرف والمنبع ،فالمنبع إذن مشترك بين الدخل والخرج. تمتاز دارة المنبع المشترك بارتفاع مقاومة دخلها، إذ ان الوصلة بين المنبع والمصرف منحازة عكسياً، وتستخدم لتضخيم فولطيات الإشارات الكهربائية سواء منها منخفضة التردد أو عالية التردد.

ب. **دارة البوابة المشتركة :**

تناظر دارة القاعدة المشتركة، وتستخدم لتضخيم فولطيات الإشارات الكهربائية ذات الترددات العالية.

جـ. **دارة المصرف المشترك :**

تناظر دارة المجمع المشترك ،حيث ان مقاومة دخلها عالية جداً ومقاومة خرجها منخفضة، وهذا يجعل دارة المصرف المشترك ملائمة لربط مصدر اشارة كهربائية ذو مقاومة عالية بحمل ذي مقاومة منخفضة كي نضمن مردوداً جيداً في عملية نقل القدرة.

ويمكن تشكيل أية دارة من هذه الدارات باستخدام ترانزستورات من النوعين JFET أوMOSFET على السواء، ومميزاتها ملخصة في الجدول(١) القيم النموذجية موضوعة بين هلالين.

البارامتر	الـــدارة		
	المنبع المشترك	**المصرف المشترك**	البوابة المشتركة
كسب الفولطية	متوسطة(40)	واحد	عالٍ (250)
كسب التيار	عالٍ جداً (200,000)	عالٍ جداً (200,000)	واحد
كسب القدرة	عالٍ جداً (8000,000)	عالٍ جدًّ(200,000)	عالٍ(250)
مقاومة الدخل	عالية جداً 1MΩ	عالية جداً 1MΩ	منخفضة Ω500
مقاومة الخرج	متوسطة/ عالية	منخفضة	عالية
إزاحة الطور	180درجة	صفر درجة	صفر درجة

الجدول (١)

(٣) الترانزستور أحادي الوصلة Unijuntion Transistor

بدأ تصنيع الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج سنة ١٩٥٢ و له مزايا عدة منها :

١ تكلفة إنتاجه قليلة .

٢ استجابته لقيم إشارات منخفضة .

٣ استهلاكه للطاقة قليل نسبياً .

و له تطبيقات عملية كثيرة من أهمها :-

أ- دارات القدح (Triggering Circuit) الخاصة بعنصر الثايرستور .

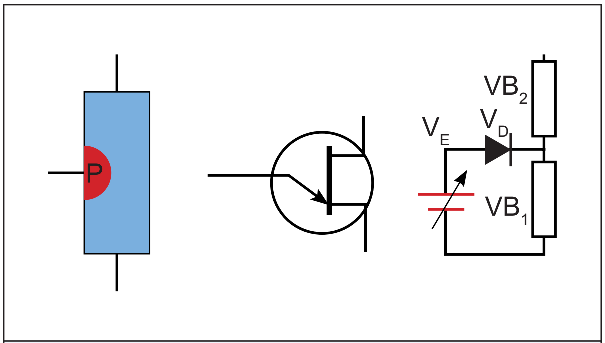
ب- المذبذبات Oscillator .

جـ- مولد إشارة سن المنشار . Sawtooth Generator .

د- دارات توقيت Timing Circuit .

هـ- وحدات التغذية منظمة التيار و الفولطية .

تركيب الترانزستور أحادي الوصلة و مبدأ عمله



شكل (٥٢) : ترانزيسور احادي

يتكون الترانزستور أحادي الوصلة من وصلة واحدة (p-n) فقط كما هو مبين في الشكل (٥٢) حيث يكون له ثلاثة أطراف طرفان موصولان في الشريح السالبة n و يسمى كل منهما بالقاعدة (B_1 و B_2) والطرف الثالث هو الباعث (Emitter) و يوصل بالشريحة الصغيرة النوع الموجب P، و يكون الباعث أقرب إلى القاعدة الثانية B_2 . و تتشكل p-n وصلة عند منطقة الاتصال بين الباعث و القاعدة .

وتكون القاعدة الثانية عادة ذات قطبية موجبة بالنسبة إلى القاعدة الأولى و يوضح الشكل (٥٢) أيضاً رمز الترانزستور أحادي الوصلة حيث يلاحظ أن طرف الباعث يرسم بشكل مائل لتمييزه كما يشير رأس السهم إلى اتجاه التيار الكهربائي .

الدارة المكافئة للترانزستور أحادي الوصلة.

و يبين الشكل (٥٢) أيضاً الدارة المكافئة الترانزستور أحادي الوصلة و هي تتكون من :-

١ الثنائي الذي يمثل الوصلة (p-n) .

٢ المقاومة R_{B1} التي تمثل المقاومة الداخلية بين الباعث و القاعدة الأولى .

٣ المقاومة R_{B2} التي تمثل المقاومة الداخلية بين الباعث و القاعدة الثانية .

و تكون المقاومة الكلية بين القاعدتين R_{BB} هي مجموع مقاومتي القاعدتين عندما يكون تيار الباعث يساوي صفراً $I_E = 0$

$$R_{BB} = RB_1 + RB_2$$

و تكون في العادة بين (4-10KΩ) .

و يتم توصيل القاعدة الثانية بالقطب الموجب و القاعدة الأولى بالقطب السالب .

و تكون أيضاً المقاومة الأولى متغيرة وتعتمد قيمتها على قيمة تيار الباعث I_E وتتراوح قيمتها بين عدة أومات و آلاف من الاومات .

و يطلق على النسبة بين هبوط الجهد على المقاومة الأولى RB_1 والجهد بين القاعدتين عندما يكون تيار الباعث I_E يساوي صفراً نسبة الابتعاد الجوهري للترانزستور أحادي الوصلة و يرمز لها بالرمز η .

و تعتبر η من المحددات الأساسية للترانزستور أحادي الوصلة و تساوي النسبة بين المقاومتين RB_1 و R_{BB} عندما يكون تيار الباعث يساوي صفراً .

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1}+R_{B2}} = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$$

و تقع عملياً η ضمن المجال (0.88 - 0.45) .

قدح الترانزستور أحادي الوصلة

يتم قدح الترانزستور أحادي الوصلة من خلال الفولطية المطبقة بين الباعث و القاعدة الأولى (V_E) كما يبين الشكل (٥٢)، فإذا تجاوزت فولطية الباعث الفولطية على مقاومة القاعدة الأولى و الفولطية الخاصة بالثنائي يتم القدح، حيث يبدأ التيار بالسريان فيه .

و تعرف الفولطية التي يبدأ عندها تيار الباعث بالسريان « فولطية القدح للباعث Vp أو فواتية القمة .

و لحساب قيمة فولطية القمة :

$$Vp = V_{RB1} + V_D$$

حيث V_{RB1} حسب قانون تجزئة الجهد تكون :

$$V_{RB1} = \frac{R_{B1}}{R_{B1}+R_{B2}} V_{BB} = \eta V_{BB}$$

فتصبح قيمة Vp

$$Vp = \eta V_{BB} + V_D$$

مثال (١):

احسب قيمة فولطية القمة للترانزستور أحادي الوصلة إذا كانت قيمة نسبة الابتعاد الجوهري و تساوي 0.7 و قيمة فولطية المصدر $V_{BB} = 10\ V$

الحل :

حسب العلاقة

$$Vp = \eta V_{BB} + V_D$$

$$Vp = 0.7 \times 10 + 0.7$$

$$Vp = 7.7\ V$$

مثال (٢):

احسب قيمة نسبة الابتعاد الجوهري وإذا علمت أن 12 =Vp وأن فولطية المصدر V_{BB}=15V .

الحل :

من العلاقة

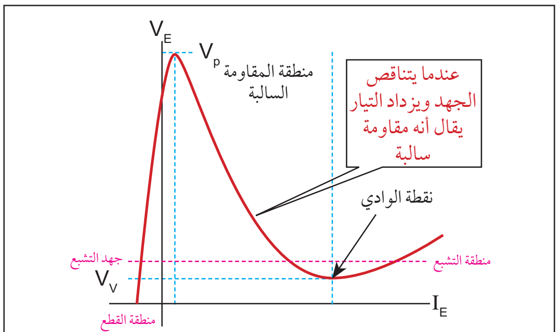
$$Vp = \eta V_{BB} + V_D$$

$$12 = \eta \times 15 + 0.7$$

$$\eta = \frac{12-0.7}{15} = 0.753$$

منحنى الخصائص للترانزستور أحادي الوصلة

يبين الشكل (٥٣) منحنى الخصائص للترانزستور أحادي الوصلة، حيث يمثل هذه المنحنى العلاقة بين فولطية الباعث وتياره عند قيم محددة للفولطية V_{BB} .



شكل (٥٣) : منحنى الخصائص للترانزستور احادي الوصلة

ويمكن تلخيص منحنى الخصائص في النقاط التالية :

- عندما تكون وصلة الباعث القاعدة الأولى منحازة عكسياً يسري في الترانزستور تيار صغير جداً هو تيار التسريب العكسي فقط .
- و عند ازدياد جهد الدخل V_E و يصبح يساوي أو أعلى من فولطية القمة V_p تصبح الوصلة منحازة أماميا، ويسري تيار في الترانزستور، مما يؤدي إلى انخفاض قيمة الفولطية بين قاعدتي الترانزستور .
- عند انحياز الوصلة أمامياً وتنخفض الفولطية على الترانزستور ويزداد التيار المار من الباعث إلى القاعدة الأولى تسمى هذه المنطقة المقاومة السالبة Negative Resistance Region .

لماذا سميت سالبة و ذلك ؛ لأن قيمة المقاومة في المنحنى تحسب من العلاقة التالية :

$$R = \frac{\Delta V_E}{\Delta I_E}$$

حيث أن التغير في الجهد يعتبر سالب التغير من القيمة الكبيرة إلى القيمة الصغيرة .

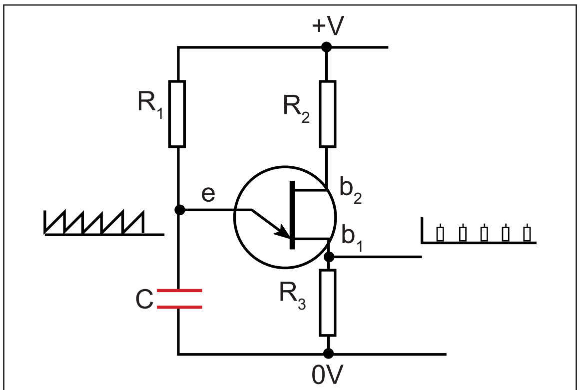
و التغير في التيار تغير موجب لأنه في ازدياد، فتحسب قيمة المقاومة و تصبح سالبة .

- يستمر ارتفاع قيمة التيار و تناقص الفولطية حتى تصل قيمة الفولطية إلى القيمة الدنيا و هي V_v وعند تيار الباعث I_v وتسمى هذه النقطة نقطة الوادي Valley Point .
- بعد نقطة الوادي فإن تيار الباعث يستمر في التزايد، و أيضاً تصبح الفولطية بازدياد، و هذا يعني أن الترانزستور دخل في منطقة التشبع Saturation Region .
- عند تناقص تيار الباعث عن قيمة الكافية لبقاء الترانزستور في حالة التوصيل ينتقل الترانزستور إلى حالة القطع cutt - off Region و يصبح التيار صغير جداً ضمن الميكرو أمبير .
- يكون التيار أكبر ما يمكن في حالة التشبع .

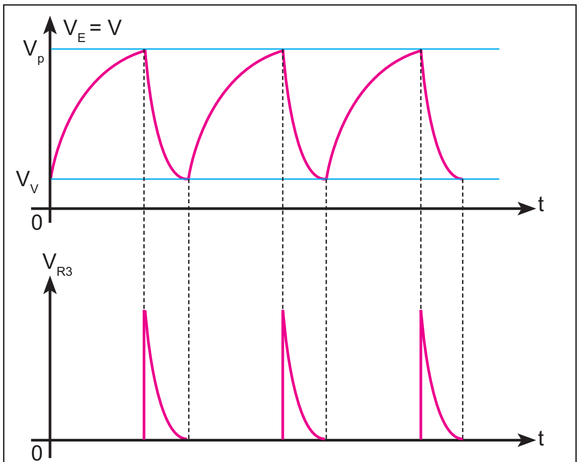
تطبيقات الترانزستور أحادي الوصلة .

١ دارة مذبذب التراخي Relaxation Oscillator :

يستخدم هذا المذبذب في تطبيقات كثيرة من أهمها دارات توليد نبضات القدح للثايرستور، ويبين الشكل (٥٤) دارة مذبذب تراخ باستخدام الترانزستور أحادي الوصلة حيث تتكون الدارة من مسارين تفريغيين، أحدهما يتكون من المقاومة R_1 و المواسع C_1 و المصدر V_{BB} و هو مسار الشحن للمواسع، أما المسار الثاني فهو المسار المشكل من المقاومة R_3 و الترانزستور، وهو مسار التفريغ للمواسع . عند اغلاق المفتاح تكون وصلة الباعث القاعدة منحازة عكسياً، إذ أن المواسع يكون مفرغاً . و يتم الشحن عبر المقاومة R_1 حيث تبدأ الفولطية على طرفيه بالتزايد، و بمعدل يعتمد على الثابت الزمني R_1C_1 . و عندما تصبح الفولطية على المواسع مساوية لفولطية قدح الترانزستور أحادي الوصلة تصبح الوصلة منحازة أمامياً، وتكون مقاومتها صغيرة جداً – حيث يتم تفريغ المواسع بسرعة كبيرة بزمن صغير – . وبعد أن يتم التفريخ تهبط الفولطية على المكثف فتصبح الوصلة منحازة عكسياً، وهكذا تتكرر العملية .



شكل (٥٤): مذبذب التراخي Relaxation Oscillator



شكل (٥٥): موجة الشحن والتفريغ (سن المنشار)

و تكون الفولطية على طرفي المواسع نتيجة للشحن و التفريغ على شكل سن منشار (Sawtooth) كما يبين الشكل (٥٥) . أما الفولطية على طرفي المقاومة R_3 التي تظهر بفعل تيار تفريغ المواسع عبر هذه المقاومة فتكون ذات شكل نبضي، حيث يعتمد عرض النبضة على زمن التفريغ للمواسع، وتتكرر هذه العملية بحيث يكون شكل الموجة عبارة عن سلسلة من النبضات .

مثال (١):

في الدارة المبينة في الشكل (٥٤) إذا علمت أن $\eta=0.6$ واحسب فولطية المواسع التي تسبب قدح الترانزستور .

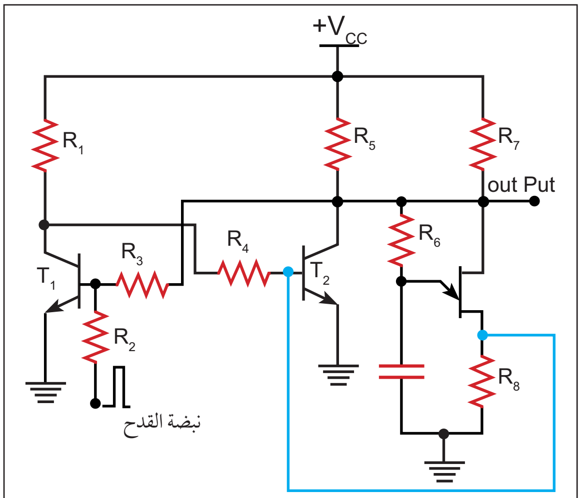
لقدح الترانزستور أحادي الوصلة يجب أن تكون فولطية المواسع مساوية لفولطية القمة و تحسب من العلاقة التالية :

$$Vp = \eta V_{BB} + V_D$$

$$= 0.6 \times 10 + 0.7 = 6.7$$

٢ دارة مذبذب متعدد الاهتزاز أحادي الاستقرار One Shot Monostable Multivibrator

تعد دارة مذبذب متعدد الاهتزاز أحادي الاستقرار دارة مهمة في التحكم . و يبين الشكل (٥٦) تركيب الدارة .



شكل (٥٦) : مذبذب متعدد الاهتزاز احادي الاستقرار

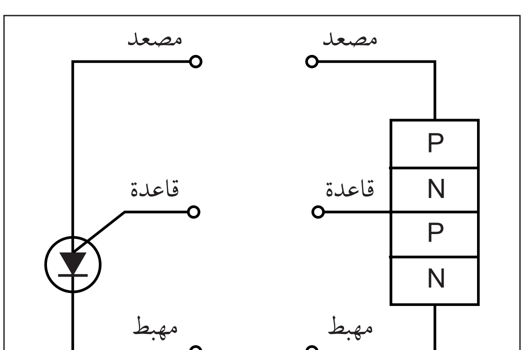
مبدأ العمل :

- تظهر نبضة فولطية على مخرجها عند حدوث عملية القدح ثم تزول بعد فترة زمنية تحددها عناصر الدارة .
- في حالة الاستقرار يكون الترانزستور T_2 في حالة التشبع حيث يكون موصولاً ، بينما يكون الترانزستور T_1 في حالة فصل . ويكون المواسع مفرغاً .
- عند قدح الترانزستور T_1 بنبضة مناسبة فإنه ينتقل إلى حالة التشبع ، ويدفع الترانزستور T_2 إلى حالة القطع .
- يبدأ المواسع بالشحن نتيجة ارتفاع فولطية مجمع الترانزستور T_2 إلى فولطية المصدر ، ويكون مسار الشحن عبر المقاومتين R_6 R_5 .
- عند بلوغ فولطية المواسع فولطية القمة للترانزستور أحادي الوصلة ، يتم قدح هذا الترانزستور ، حيث تفرغ شحنة المواسع خلاله عبر المقاومة R_8 على شكل نبضة .
- تعمل النبضة على قدح الترانزستور T_2 و إعادته إلى حالة التشبع التوصيل ويدفع الترانزستور T_1 إلى حالة القطع .
- تعود الدارة بعد ذلك إلى حالة الاستقرار كما تعود فولطية الخرج إلى الصفر .
- يمكن حساب الزمن اللازم T لعودة الدارة إلى حالة الاستقرار : $T = R_6 \times C$

الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج . Programmable Unijunction Transistor : PUT

تركيب الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج يختلف تركيب الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج عن تركيب الترانزستور أحادي الوصلة ، حيث يتركب من أربع شرائح هي p-n-pn و هو عنصر ثلاثي الأطراف كما يظهر في الشكل (٥٧) المصعد و المهبط و البوابة .

ويلاحظ أن البوابة قريبة من المهبط .



شكل (٥٧) : تركيب الترانزيستور احادي الوصلة ورمزه

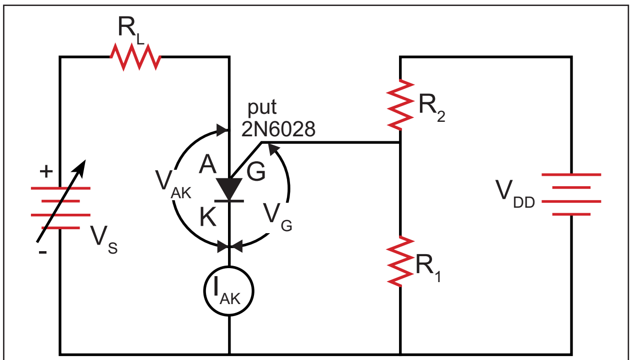
مبدأ العمل :

يشبه مبدأ عمله مبدأ عمل الترانزستور أحادي الوصلة ، باستثناء أن فولطية القدح له متغيرة ، ويمكن التحكم بها حيث يتم تغييرها بواسطة مجزئ فولطية خارجي يضاف إلى هذا الغرض .

دارة قدح الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج :

يبين الشكل (٥٨) دارة قدح الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج .

- توصل البوابة بحيث تكون فولطيتها موجبه بالنسبة إلى المهبط . وتسمى فولطية البوابة V_G . و تحدد فولطية البوابة من خلال مجزء الفولطية (R_1 R_2) الذي يضاف إلى الدارة خارجياً

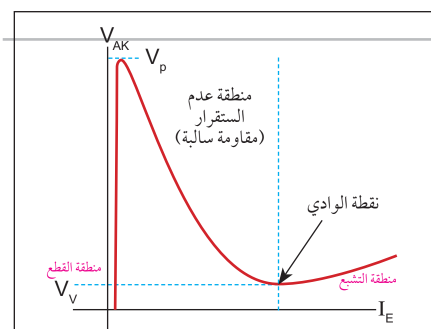


شكل (٥٨) : دارة قدح الترانزستور احادي الوصلة المبرمج

- يكون الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج في حالة الانحياز العكسي عندما تكون الفولطية بين المصعد والبوابة سالبة .
- يكون الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج في حالة الانحياز الأمامي عندما تكون الفولطية بين المصعد و البوابة موجبة و تتجاوز فولطية البوابة فولطية المصعد بـ 0.7 فولط . بينما إذا انخفضت فولطية بين المصعدو و البوابة إلى أقل من 0.7 فولط يتحول إلى حالة الفصل .

منحنى الخصائص :

يبين الشكل (٥٩) منحنى خصائص الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج و هو يشبه محنى خصائص الترانزستور أحادي الوصلة . الاختلاف الوحيد أن الترانزستر احادي الوصلة يبدأ المنحنى بالتيار السالب و هو تيار التسريب العكسي ، وهذا التيار غير موجود في الترانزستور احادي الوصلة المبرمج .



شكل (٥٩) : منحنى الخصائص للترانزستور احادي الوصلة المبرمج

التحكم

تتم عملية التحكم بفولطية قدح البوابة عن طريق تغيير قيم المقاومات (R_1 R_2) مما يسمح بقدح الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج عند قم مختلفة من الفولطيات . حيث تحسب فولطية البوابة V_G حسب قانون التجزئة :

$$V_G = V_{BB} \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

و تعتبر $\frac{R_1}{R_1+R_2}$ نسبة الابتعاد الجوهري و يرمز لها η .

وتتم عملية القدح عندما تصبح الفولطية بين المصعد و المهبط V_{AK} مساوية لفولطية القمة V_P التي تعطى بالعلاقة التالية :

$$V_P = V_G + V_D = \eta V_{BB} + V_D$$

مثال (١):

احسب قيمة الفولطية V_{BB} و المقاومة R_1 ألازمتين لقدح الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج المصنوع من السليكون . بحيث تكون : $\eta = 0.7$ $\quad V_P = 12V \quad R_2 = 10K\,\Omega$

الحل :

من علاقة نسبة الابتعاد الجوهري :

$$\eta = \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$R_1 = R_2 \frac{\eta}{1-\eta} = 10K \frac{0.7}{1-0.7} = 23.33K$$

و من العلاقة فولطية القمة

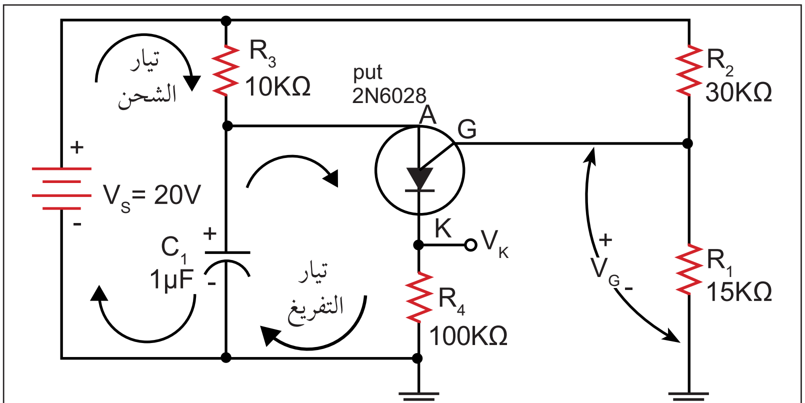
$$V_P = V_G + V_D = \eta V_{BB} + V_D$$

$$V_{BB} = \frac{V_P - V_D}{\eta} = \frac{12-0.7}{0.7}$$

$$V_{BB} = 16.15\ V$$

تطبيقات :

من أهم تطبيقات الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج هي دارة مذبذب التراخي و هي موضحة في الدارة في الشكل (٦٠) .



شكل (٦٠): دارة مذبذب تراخي باستخدام الترانزستور احادي الوصلة المبرمج

أسئلة الوحدة

س١ : ضع إشارة صح (✓) أو خطاء (✗) أمام العبارات الآتية :

(   ) ١ كلمة Transistor تعني تحويل الطاقة .

(   ) ٢ الترانزستور ثنائي القطبية مكون من ثلاث وصلات .

(   ) ٣ يتميز الباعث عن المجمع بأن تركيز الشوائب في شريحة الباعث أعلى بكثير .

(   ) ٤ التيار المار في القاعدة أكبر من التيار المار في المجمع .

(   ) ٥ كسب القدرة هو النسبة بين القدرة الخاصة بالخرج و القدرة الخاصة بالدخل .

(   ) ٦ يفضل أن تكون ممانعة الدخل صغيرة لكي تستقبل تياراً صغيراً.

(   ) ٧ من مميزات دارة الباعث المشترك أن يكون معامل كسب التيار عالياً.

(   ) ٨ يكون معامل كسب الجهد أعلى من معامل كسب التيار في دارة المجمع المشترك .

(   ) ٩ في منطقة التشبع تكون وصلة القاعدة المجمع منحازة عكسياً .

(   ) ١٠ يستخدم جهد انحياز في ترانزستور PNP عكس قطبية جهد الانحياز في ترانزستور NPN .

(   ) ١١ تغيير درجة حرارة الترانزستور يؤدي إلى تشويه إشارة الخرج .

(   ) ١٢ المفتاح الترانزستوري يعمل في المنطقة الفعّالة .

(   ) ١٣ مخرج دارة قادح شمت موجة مربعة .

(   ) ١٤ يتكون ترانزستور أحادي الوصلة من شريحتين فقط .

(   ) ١٥ يقدح ترانزستور أحادي الوصلة عندما يكون جهد الدخل أعلى من جهد القمة بـ 1.4V .

(   ) ١٦ تم اكتشاف ترانزستور تأثير المجال قبل ترانزستور ثنائي القطبية .

(   ) ١٧ ممانعة الدخل للترانزستور تأثير المجال أعلى من ممانعة الدخل للترانزستور ثنائي القطبية .

(   ) ١٨ ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة هو نفسه MOSFET .

(   ) ١٩ ترانزستور MOSFET يتحمل جهود عالية جداً .

(   ) ٢٠ يمكن استخدام ترانزستور تأثير المجال في عمليات التضخيم .

س٢ : علل ما يلي :

١ يستخدم مكثف إمرار على مدخل الترانزستور .

٢ الترانزستور الثاني في توصيلة دارلنجتون يكون ترانزستور قدرة .

٣ وضع ثنائي على قاعدة الترانزستور .

٤ دارة المصرف المشترك لترانزستور تأثير المجال مناسبة لربط مصدر إشارة كهربائية ذي مقاومة عالية بحمل ذو مقاومة منخفضة .

٥ يفضل في دارة التكبير الجيدة أن تكون ممانعة الخرج منخفضة .

٦ عند توصيل مصباح مع ترانزستور وجد أن المصباح لا يضيء رغم توفر جهد V_{CC} .

س٣ : عدد مزايا كل من ما يلي :

١ دارة القاعدة المشتركة .

٢ ترانزستور أحادي الوصلة .

٣ دارة التكبير الجيدة .

٤ ترانزستور تأثير المجال على ترانزستور ثنائي القطبية .

٥ دارة المنبع المشترك للترانزستور تأثير المجال .

س٤ : أذكر المواصفات التي يجب مراعاتها عند الحاجة إلى تغيير ترانزستور تالف .

س٥ : أرسم التركيب الداخلي لكل مما يلي :-

١ ترانزستور MOSFET الاستنزافي ذو القناة الموجبة .

٢ ترانزستور MOSFET التعزيزي ذو القناة الموجبة .

٣ ترانزستور NPN .

س٦ : اشرح :-

١ عمل ترانزستور JFET بالقناة السالبة .

٢ كيف يمكن معالجة ارتفاع حرارة ترانزستور .

٣ عمل دارة قادح شميت .

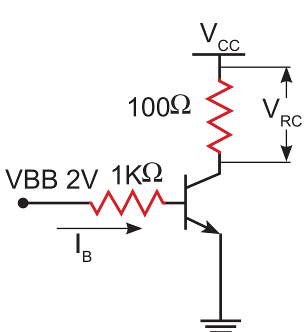
٤ دارة مذبذب متعدد الاهتزاز أحادي الاستقرار .

٥ كيف يمكن توليد موجة سن منشار .

س٧ : أثبت أن :

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

س٨ : من الدارة في الشكل المجاوراِذا علمت أن I_C = 100 mA احسب



١ V_{RC}

٢ I_B

٣ معامل كسب التيار

٤ معامل كسب الجهد

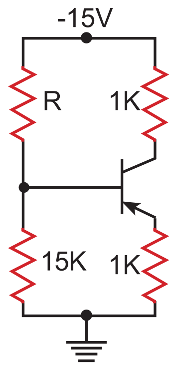
٥ معامل كسب القدرة .

٦ V_{CE} .

س٩ : نفس الشكل السابق(ولكن قيم مختلفة للجهد و التيارات و المقاومات) احسب قيمة المقاومة R_B التي تجعل الترانزستور في منطقة التشبع ، إذا علمت أن :

R_C = 220 Ω ، V_{BB}= 5 V V_{CC} =12V

معامل كسب التيار 150 .



س١٠ : ارسم منحنى خواص للتالي :

١ الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج .

٢ منحنى الدخل للترانزستور ثنائي القطبية .

٣ منحنى الخرج للترانزستور ثنائي القطبية .

س١١ : الدارة في الشكل المجاور إذا علمت أن الترانزستور من نوع PNP احسب قيمة R في الدارة لتجهيز V_{CE}=10V مع العلم أن : β =100

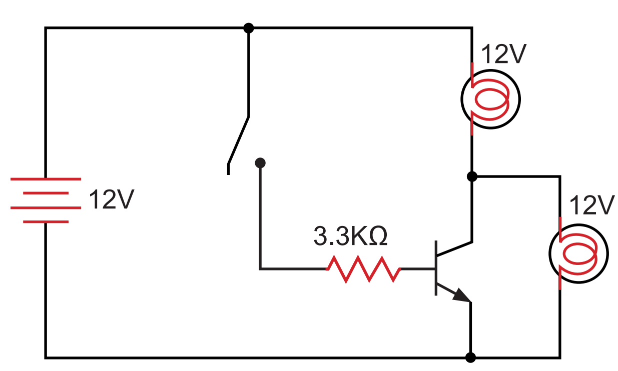
س١٢ : بالرجوع إلى شكل (٦٠) ولكن بقيم مختلفة لكل من المقاومات .

احسب V_p ، R_1 . إذا علمت ان :

R_2=20K , V_{BB} =15.5V , V_S =20V ، نسبة السماح 0.75

س١٣ : أرسم شكل موجة الخرج على دارة قادح شمت (شكل ٣٩) إذا كانت موجة الخرج موجة جيبية ذات اتساع 12V و ترددها 5KHz . احسب تردد موجة الخرج .

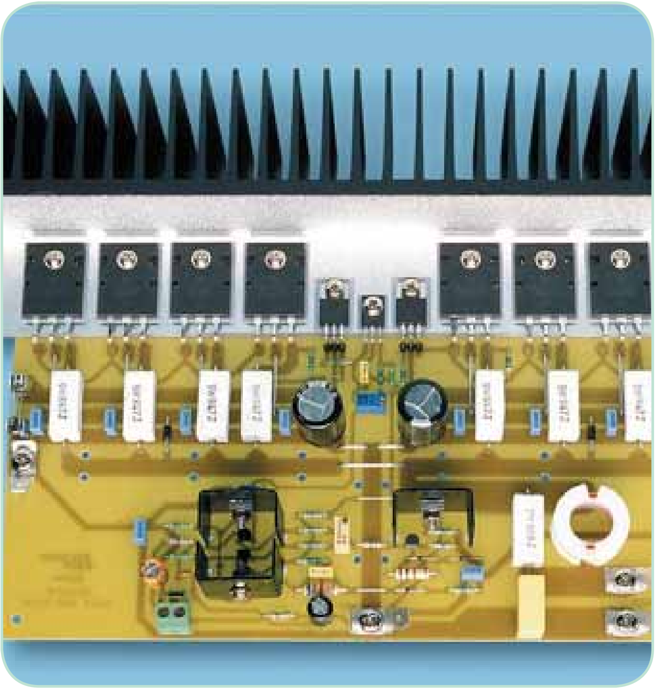
س١٤ : اشرح عمل الدارة في الشكل التالي .



الوحدة

٢

مضخم العمليات



مضخم العمليات

(١) مضخم العمليات Operational Amplifier

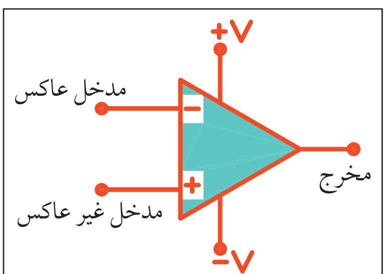
مقدمة:

تم تطوير مضخم العمليات منذ سنوات عديدة لاستعماله في العمليات الرياضية كالجمع و الطرح اللازمة في الحاسب التمثيلي، ونظراً لتميز خصائصه وقلة تكلفته و استقراريته العالية وصغر حجمه، تطورت استخداماته وتشعبت، لتشمل العديد من التطبيقات كأجهزة القياس و دارات التحكم .

وتجدر الإشارة انه لا تحتاج لمعرفة التفاصيل الداخلية لمضخم العمليات من اجل استخدامه، و يكفي معرفة مواصفاته الأدائية .

ما هو مضخم العمليات:

مضخم العمليات في أساسه ليس إلا مضخم تفاضلي(فرقي) يقوم بتكبير الفرق في الجهد بين مدخلين أحدهما ذي تأثير موجب على الخرج (مدخل غير عاكس) يعمل على تحويل الخرج إلى قيمة موجبة والأخر ذي تأثير سالب على الخرج (مدخل عاكس) يعمل على تحويل الخرج إلى قيمة سالبة، وعلية فإن إشارة الخرج تتبع الفرق بين جهدي المدخلين كما في الشكل (١).

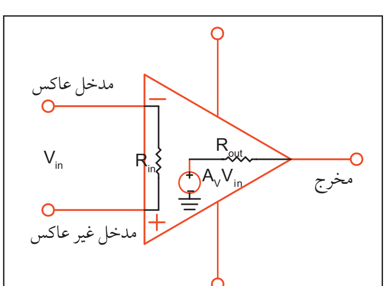


شكل (١): رمز مضخم عمليات

يحتاج مضخم العمليات إلى جهدي تغذية، جهد موجب (+V) وجهد سالب (-V)، وفي بعض الأحيان يكفي جهد موجب لتشغيله، و يستعاض عن الجهد السالب بالأرضي .

تمثيل مضخم العمليات:

لتسهيل فهم وتحليل الدارات التي تستخدم مضخم العمليات، تم تمثيل مضخم العمليات بالدارة المكافئة المبينه في الشكل (٢)، وتتكون الدارة المكافئة مما يلي :



شكل (٢): الدارة المكافئة لمضخم العمليات

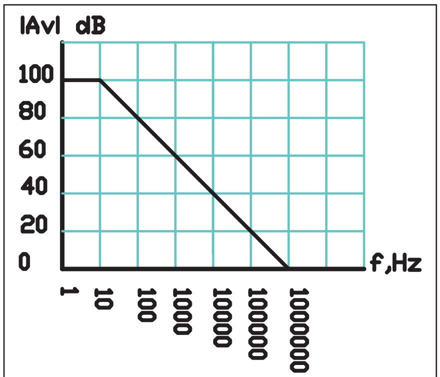
١ مقاومة الدخل(R_{in}): وهي قيمة المقاومة الداخلية لمضخم العمليات كما تُنظر من خلال طرفي الدخل، وقد تصل إلى أكثر من 20MΩ وتقاس عادة في حالة الدارة المفتوحة .

٢ جهد الدخل V_{in}: يساوي الفرق بين جهد المدخل غير العاكس وجهد المدخل العاكس($V_{in}=V_2-V_1$)

٣ مقاومة الخرج(R_{out}) وهي قيمة المقاومة الداخلية للمضخم كما تنظر من خلال طرفي الخرج وعادة تكون من عدة اومات إلى بضع مئات من الاومات و تقاس في الدارة المفتوحة .

٤ جهد الخرج V_o : وهو مصدر جهد قيمته معتمدة على كل من جهد الدخل V_{in} مضروباً في محدد آخر خاص بمضخم العمليات يسمى معامل تضخيم الجهد(A_v) أي أن ($V_o = A_v . V_{in}$) .

٥ معامل تضخيم الجهد Av : ويمثل قيمة التضخيم الذي يوفره مضخم العمليات، وهو ذات قيمة عالية تصل إلى (10^5) مرة . إن قيمة معامل التضخيم تعتمد على تردد الإشارة المدخلة حيث يتناسب معمل التضخيم عكسيا مع التردد، وعلى سبيل المثال يصل معامل التضخيم إلى واحد عند تردد مقداره 1MHz كما هو موضح في الشكل (٣) .



شكل (٣) : منحنى الاستجابة الترددي

٦ جهود التغذية لمضخم العمليات : يتم تجهيز مضخم العمليات بمصدر جهد موجب القيمة و أخر سالب القيمة بالنسبة لنقطة مشتركة(الأرضي) .

الدارة المتكاملة لمضخم العمليات :

هناك نوعان شائعا الاستعمال متعددة الأغراض من الدارات المتكاملة التي تحوي مضخمات عمليات وهما LM741 و LF411، الأولى مكونة من ترانزستورات ثنائية القطبية BJT، و الثانية مداخلها مكونة من ترانزستورات تأثير المجال FET مما يعطيها مقاومة دخل عالية جداً تصل إلى ($10^{12}\Omega$)، ويبين الشكل(٤)توزيع أطراف الدارة المتكاملة لمضخم العمليات وهي كما يلي

١ طرف رقم ١ : أحد أطراف معادلة الإزاحة(Balance) .

٢ طرف رقم ٢ : المدخل العاكس(−) .

٣ طرف رقم ٣ : المدخل غير العاكس(+) .

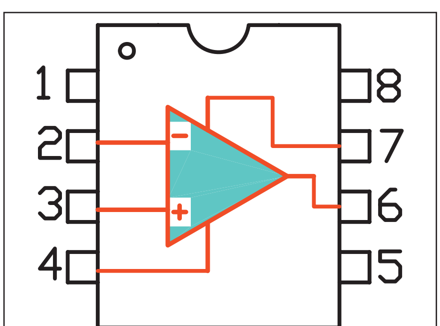
٤ طرف رقم ٤ : التغذية السالبة (V-) .

٥ طرف رقم ٥ : أحد أطراف معادلة الإزاحة (Balance) .

٦ طرف رقم ٦ : خرج المضخم (V_o) .

٧ طرف رقم ٧ : التغذية الموجبة (+V) .

٨ طرف رقم ٨ : غير موصول (NC) .



شكل (٤) : الدارة المتكاملة

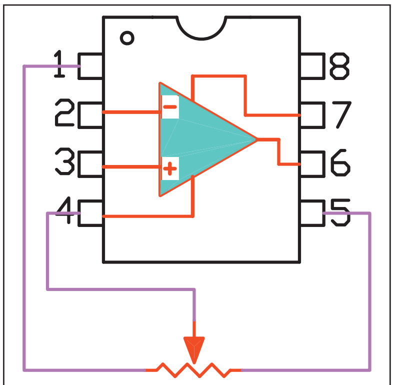
الإزاحة في مضخم العمليات :

في التطبيقات العملية قد تظهر حالة من عدم الاتزان في خرج المضخم، وذلك ينتج عن عدم التماثل في بنية الترانزستورات أو بسبب الحرارة، حيث ينشأ عن ذلك جهد دخل قليل جدا يؤدي تضخيمه خاصة في الدارة

المفتوحة – إلى تحوّل المضخم إلى حالة التشبع (إزاحة في خرج المضخم).

ولكن كيف تتم معادلة الإزاحة؟

تتم معادلة الإزاحة بواسطة توصيل مقاومة متغيرة بين طرفي معادلة الإزاحة و يوصل الطرف المنزلق مع جهد التغذية السالبة للمضخم، كما يوصل كل من المدخل العاكس و المدخل غير العاكس إلى جهد مقداره صفر (أرضي) كما في الشكل (٥)، بعد ذلك يتم تدوير المقاومة المتغيرة حتى يصبح جهد الخرج مساويا للصفر.

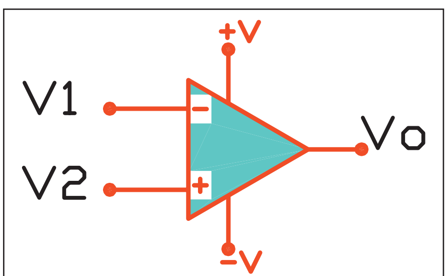


شكل (٥): معادلة الازاحة

التغذية العكسية في مضخم العمليات:

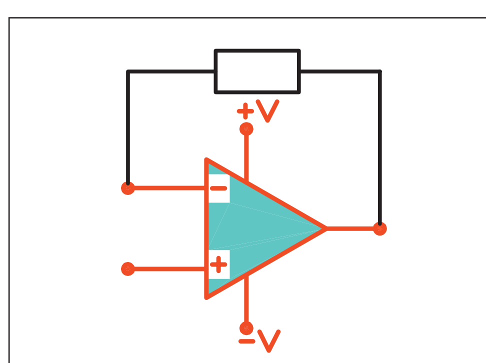
تصنف تطبيقات مضخم العمليات بحسب طريق توصيل المضخم إلى ما يلي:

١ الدارة المفتوحة: حيث يوصل المضخم دون وجود تغذية راجعة من خرج المضخم إلى دخله كما في الشكل (٦)، في هذه الحالة يكون معامل التضخيم للمضخم عالي القيمة، وعليه فإن أي تغير طفيف على جهد الدخل يرافقه انتقال المضخم إلى حالة التشبع (السالبة أو الموجبة)، في هذه الدارات لا يمكن التحكم في معامل التضخيم كما لا يمكن التحكم بممانعة الدخل والخرج.

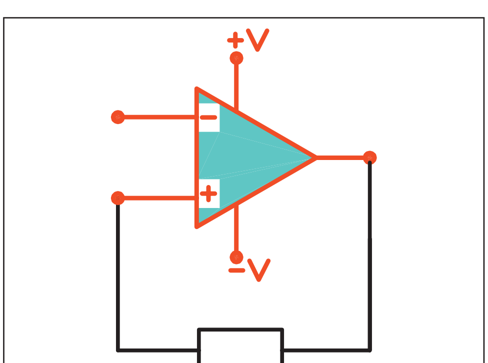


شكل (٦): التوصيل في دارة مفتوحة

٢ الدارة المغلقة: حيث يوصل مضخم العمليات بوجود تغذية راجعة. ويقصد بالتغذية الراجعة إعادة جزء من إشارة الخرج إلى دخل المضخم وتتم التغذية الراجعة بواسطة عنصر أو مجموعة عناصر الكترونية كالمقاومة و المواسع والثنائي . . . الخ، فالتغذية الراجعة إذا أعادت جزءاً من إشارة الخرج إلى المدخل العاكس تسمى تغذية راجعة، سالبة كما في الشكل (٧)، وأما إذا أعادته إلى المدخل غير العاكس تسمى تغذية راجعة موجبة كما في الشكل (٨).



شكل (٧): توصيل في دارة مغلقة–تغذية راجعة سالبة



شكل (٨): توصيل في دارة مغلقة–تغذية راجعة موجبة

وتوفر التغذية الراجعة المزايا الآتية :

١ التحكم بمعامل التضخيم .

٢ التحكم بممانعة الدخل و الخرج .

٣ زيادة في الاستقرارية .

تحليل دارات مضخم العمليات:

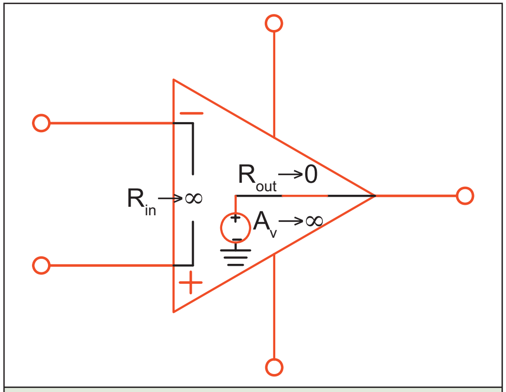
في فقرات سابقة بينا مواصفات مضخم العمليات العملية ، و لتسهيل تحليل و فهم دارات مضخم العمليات ، يتم التعامل مع نموذج مثالي لمضخم العمليات ، وفي هذا النموذج يمتاز بالخصائص التالية :

١ مقاومة الدخل عالية جداً تصل إلى مالانهاية($R_{in}\rightarrow\infty$) .

٢ مقاومة الخرج صغيرة جداً تصل إلى صفر($R_{out}\rightarrow 0$) .

٣ معامل تضخيم الجهد عالٍ جدا يصل إلى مالانهاية ($A_v\rightarrow\infty$) .

٤ نطاق التردد عالي يصل إلى مالانهاية حيث يستجيب المضخم لجميع الإشارات المستمرة والمتناوبة .



شكل (٩) : مضخم عمليات مثالي

٥ جهد الخرج يساوي صفراً إذا تساوى جهد المدخل العاكس مع جهد المدخل غير العاكس .

٦ خصائص المضخم لا تتأثر بالحرارة : أي أن خرج المضخم لا يُزاح عن قيمته الأصلية بتغير الحرارة ، ويوضح الشكل(٩) هذه الخصائص .

و بالاستناد إلى الخصائص لمضخم العمليات المثالي نخلص إلى الفرضيين التاليين :

أ . إن التيار المار في أي من المدخلين (العاكس وغير العاكس) يساوي صفراً .

ب . إن فرق الجهد بين المدخلين العاكس وغير العاكس يساوي صفراً، وكأن المدخلين مربوطان معاً، وهذا ما يعرف بدارة القصر الظاهري (Virtual Short circuit) .

تصنيفات مضخمات العمليات:

تصنف مضخمات العمليات وفقاً لاستخداماتها إلى ما يلي :

١ مضخمات للأغراض العامة (General Purpose) : يعد مضخم العمليات 741 من أكثرها شيوعاً .

٢ مضخمات الترددات العالية : حيث تعمل هذه المضخمات بنطاق ترددي عالي يصل إلى 100MHz وتستخدم في محولات الإشارات الرقمية إلى تمثيلية و بالعكس مثل LH0033, LH0063 .

٣ مضخمات ذات جهد خرج أو تيار خرج عاليين : حيث يلزم في بعض التطبيقات إلى جهد خرج عالٍ أو إلى

تيار حمل عالي و من أمثلة ذلك المضخم LH0021 لتضخيم التيار (1A) والمضخم LH 0004 لتضخيم الجهد (35V) .

٤ مضخمات العمليات المبرمجة : حيث يتم التحكم بمقدار انحياز الترانزستورات المكونة للمضخم خارجياً ، ويطلق عليها المضخمات القدرة الدقيقة مثل الدارة المتكاملة LM4250 .

(٢) تطبيقات مضخم العمليات

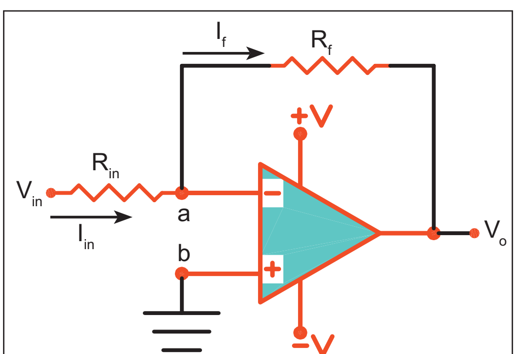
يُستخدم مضخم العمليات في تطبيقات عديدة ، ويمكن تصنيفها في مجالين رئيسيين هما :

١ تطبيقات خطية (Linear applications) : في هذه التطبيقات يستخدم المضخم العناصر غير الفعالة في التغذية العكسية(مقاومات ، ملفات ، مواسعات) وفيها يتغير خرج المضخم بشكل خطي مع دخله .

٢ تطبيقات غير خطية (Nonlinear applications) : في هذه التطبيقات يستخدم المضخم العناصر الفعالة في التغذية العكسية(ثنائيات ، ترانزستورات) وفيها يتغير خرج المضخم بشكل غير خطي مع دخله .

أ- التطبيقات الخطية لمضخم العمليات:

إن لمضخم العمليات العديد من التطبيقات الخطية ، والتي يتغير فيها الخرج بشكل خطي مع تغير الدخل مع مراعاة عدم عمل المضخم في منطقتي التشبع السالبة أو الموجبة ، وفيما يلي تفصيل لبعض هذه التطبيقات :



شكل (١٠) : مضخم عمليات عاكس

١ مضخم العمليات العاكس:

يوضح الشكل (١٠) دارة مضخم العمليات العاكس ، حيث توفر المقاومة(R_f) تغذية عكسية سالبة للمضخم ، ونظراً لتوفر التغذية العكسية فانه يمكن التحكم بمقدار التضخيم .

سمي المضخم العاكس عاكساً لوجود فرق في الطور مقداره 180° بين الدخل و الخرج ، و سنبين في الخطوات التالية كيفية استنتاج مقدار معامل التضخيم لهذا المضخم .

على فرض أن المضخم مثالي ، فإن التيار الداخل إلى المضخم يساوي صفراً ، جهد المدخل الغير عاكس يساوي جهد المدخل العاكس .

$$V_b = 0 \qquad , \qquad V_a = 0$$

نفرض التيارات في الدارة كما هو موضح في الشكل و باستخدام قانون اوم يكون

$$I_{in} = \frac{V_{in} - Va}{R_{in}} = \frac{V_{in} - 0}{R_{in}} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$I_f = \frac{V_a - V_o}{R_f} = \frac{0 - V_o}{R_f} = \frac{-V_o}{R_f}$$

حسب الفرض فإن التيار I_f يساوي I_{in} في المقدار والاتجاه .

$$I_f = I_{in}$$

و بالتعويض بدل كل من I_{in}, I_f

$$\frac{-V_o}{R_f} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in} \quad \text{...(1)}$$

تبين العلاقة (1) قيمة خرج المضخم بدلالة الدخل و إشارة السالب في المعادلة تدل على أن فرقاً في الطور مقداره 180 درجة بين إشارة الخرج و أشارة الدخل ، أما معامل التضخيم فيعطى بالعلاقة التالية :

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}}$$

مثال (١):

في مضخم العمليات العاكس المبين في الشكل(١٠) إذا كانت :

$V_{in} = 0.5\ V, R_f = 10K\Omega, R_{in} = 2K\Omega$

جد مقدار جهد الخرج V_o؟

الحل :

نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in} = -\frac{10}{2} 0.5 = -2.5V$$

مثال (٢):

اعد المثال السابق إذا كان جهد الدخل موجه جيبيه $V_{in}(t)=0.5\ Sin\ (2000\ \pi t)$ مع الرسم .

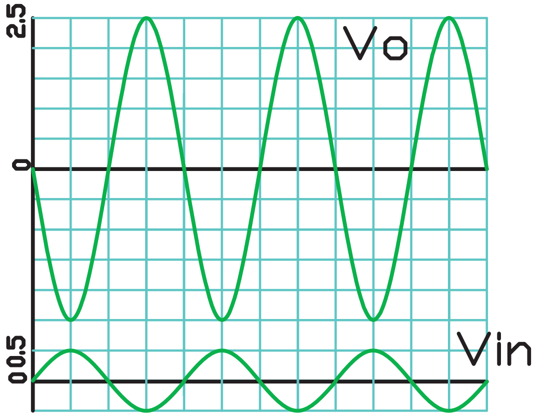
الحل : نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$

$$= -\frac{10}{2}\ 0.5Sin\ (2000\ \pi t)$$

$$= -2.5\ Sin\ (2000\ \pi t)$$

يبين الشكل (١١) كل من إشارة الدخل والخرج

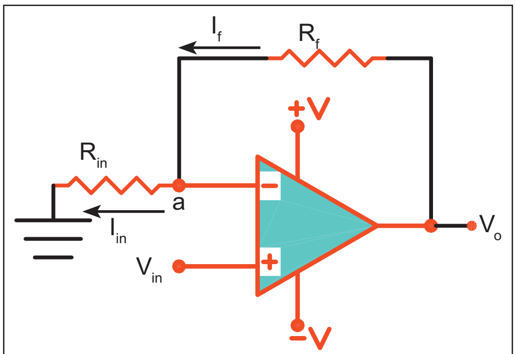


شكل (١١)

٢ مضخم عمليات غير عاكس:

في هذا المضخم تم وصل إشارة الدخل على المدخل غير العاكس كما في الشكل (١٢)، حيث توفر المقاومة(R_f) تغذية عكسية سالبة للمضخم، ونظراً لتوفر التغذية العكسية فانه يمكن التحكم بمقدار التضخيم .

سمي المضخم بغير العاكس نظراً لتوافق إشارة الدخل وإشارة الخرج في الطور (0 درجة)، على فرض أن المضخم مثالي، فإن التيار الداخل إلى المضخم يساوي صفراً، جهد المدخل الغير عاكس يساوي جهد المدخل العاكس .



شكل (١٢) : مضخم عمليات غير عاكس

$$V_a = V_{in}$$

نفرض التيارات في الدارة كما هو موضح في الشكل (١٢) و باستخدام قانون اوم يكون

$$I_{in} = \frac{V_{in} - 0}{R_{in}} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$I_f = \frac{V_0 - V_a}{R_f} = \frac{V_0 - V_{in}}{R_f}$$

حسب الفرض فأن التيار I_f يساوي I_{in} مقداراً و اتجاهاً

$$I_f = I_{in}$$

$$\frac{V_0 - V_{in}}{R_f} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$\frac{V_0}{R_f} - \frac{V_{in}}{R_f} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$V_o = [\frac{R_f}{R_{in}} + 1]\, V_{in} \quad \text{...(2)}$$

تبين العلاقة (2) قيمة خرج المضخم بدلالة الدخل يلاحظ عدم وجود فرق في الطور بين إشارة الخرج وإشارة الدخل(فرق طور مقداره صفر درجة)، أما معامل التضخيم فيعطى بالعلاقة التالية :

$$A_v = \frac{V_0}{V_{in}}$$

$$= \frac{[\frac{R_f}{R_{in}} + 1]\, V_{in}}{V_{in}}$$

$$= \frac{R_f}{R_{in}} + 1$$

مثال (١):

في مضخم العمليات غير العاكس المبين في الشكل (١٢) إذا كانت :

$V_{in} = 0.5\ V \quad , R_f = 10K\Omega\ , R_{in} = 2K\Omega$

جد مقدار جهد الخرج V_o ؟

الحل :

نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = [\frac{R_f}{R_{in}} + 1]\, V_{in}$$

$$= [\frac{10}{2} + 1]\, 0.5$$

$$= 3V$$

مثال (٢):

اعد المثال السابق إذا كان جهد الدخل موجه جيبيه ($V_{in}(t) = 0.5\ Sin\ (2000\pi t)$ مع الرسم .

الحل :

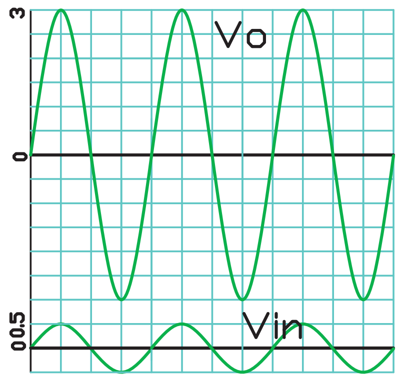
نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = [\frac{R_f}{R_{in}} + 1]\, V_{in}$$

$$= [\frac{10}{2} + 1]\, 0.5Sin\ (200\pi t)$$

$= 3\ Sin\ (2000\ \pi t)$

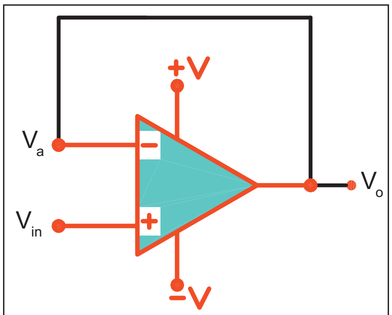
يبين الشكل (١٣) إشارتي الدخل والخرج .



الشكل (١٣)

٣ تابع الجهد:

يبين الشكل(١٤) دارة مضخم العمليات في توصيلة تابع الجهد و الدارة تشبه دارة مضخم العمليات غير العاكس ، حيث استعيض عن مقاومة التغذية العكسية R_f بدارة قصر($R_f = 0$)، ولكون مدخلا المضخم متساويين في الجهد لوجود القصر الظاهري بين المدخلين فإن :



شكل (١٤): مضخم عمليات تابع الجهد

$$V_{in} = V_a = V_o$$

$$V_o = V_{in} \text{ ....(3)}$$

و يعطى معامل التضخيم بالعلاقة التالية :

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$A_v = 1$$

لقد سمي بهذا الاسم لأن جهد الخرج يساوي جهد الدخل ويتطابق معه في الطور، ويمتاز بممانعة دخل كبيرة و بممانعة خرج قليلة و معامل تضخيم مقداره واحد، وهذه المزايا تجعله مناسباً لعمليات العزل و في عمليات المواءمة بين دارات ذات ممانعة خرج كبيرة و دارات ذات ممانعة دخل صغيرة، ويعمل كمنبع للتيار، ويشبه دارة تابع الباعث كما مر معك في و حدة الترانزستور .

مثال (١):

في مضخم العمليات تابع الجهد إذا كان جهد الدخل موجه جيبيه ($Vin(t)=0.5\ Sin\ (2000\pi t)$ جد جهد الخرج مع الرسم .

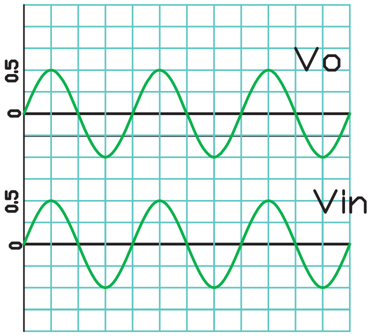
الحل : نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = V_{in}$$

$$= 0.5Sin\ (2000\ \pi t)$$

$$= 0.5\ Sin\ (2000\ \pi t)$$

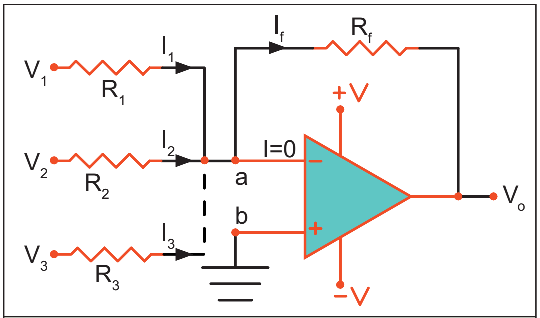
يبين الشكل(١٥) إشارة الدخل والخرج .



شكل (١٥)

٤ مضخم العمليات الجامع:

هو عبارة عن مضخم عمليات عاكس له مدخلين أو أكثر، يتصل كل مدخل بواسطة مقاومة بمصدر جهد مستقل، وبالتالي فان لكل مدخل تياره الخاص المعتمد على قيمة كل من مصدر الجهد و المقاومة، يبين الشكل (١٦) مضخم عمليات جامعا ذا ثلاثة مداخل، و فيما يلي اشتقاق للعلاقة التي تربط خرج المضخم بمداخله.



شكل (١٦): مضخم عمليات جامع

على فرض أن المضخم مثالي فان:

$$V_a = V_b = 0$$

نفرض التيارات في الدارة كما هو موضح في الشكل و باستخدام قانون اوم يكون

$$I_1 = \frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_1 - 0}{R_1} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2 - V_a}{R_2} = \frac{V_2 - 0}{R_2} = \frac{V_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_3 - V_a}{R_3} = \frac{V_3 - 0}{R_3} = \frac{V_3}{R_3}$$

$$I_f = \frac{V_a - V_o}{R_f} = \frac{0 - V_o}{R_f} = \frac{-V_o}{R_f}$$

و بتطبيق قانون كيرشوف للتيار حول النقطة a

$$I_f = I_1 + I_2 + I_3$$

و بالتعويض بدل كل من I_f, I_1, I_2, I_3

$$\frac{-V_o}{R_f} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

$$V_o = -R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right] \quad \text{..................................(4)}$$

ومن الحالات الخاصة لمضخم العمليات الجامع إذا تساوت قيم المقاومات $R = R_1 = R_2 = R_3$ حيث تصبح العلاقة:

$$Vo = -\frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + V_3)$$

المضخم الجامع يُستخدم في حساب القيمة المتوسطة للجهود الدخل (المعدل) بجعل النسبة بين المقاومتين ($\frac{R_f}{R}$) مساوية لعدد المداخل، مثل ($\frac{1}{3}$) إذا كان عدد المداخل ثلاثة.

مثال (١):

في مضخم العمليات الجامع المبين في الشكل إذا كانت

$V_1 = 5V, V_2 =1V, V_3 = 4V, R_f =1.2K\Omega =, R_1 = 2K\Omega, R_2 = 5K\Omega, R_3 =1K\Omega$

اوجد مقدار جهد الخرج V_o ؟

الحل :

نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = - R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right]$$

$$= -1.2 \left[\frac{5}{2} + \frac{1}{5} + \frac{4}{1} \right]$$

$$= -1.2 \quad \frac{67}{10} = -8.04V$$

مثال (٢):

في مضخم العمليات الجامع المبين في الشكل اقترح قيمة كل من R1,R2,Rf بحيث يكون جهد الخرج

$V_o= -2V_1+ -5V_2$

الحل :

نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = -R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right]$$

$$V_o = \frac{-R_f}{R_1}V_1 + \frac{-R_f}{R_2}V_2$$

المطلوب أن يكون جهد الخرج

$V_o = -2V_1+ -5V_2$

بمطابقة العلاقتين يجب أن يكون

$$\frac{-R_f}{R_1} = -2 \Rightarrow R_f = 2 R_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

$$\frac{-R_f}{R_2} = -5 \Rightarrow R_f = 5 R_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

لو فرضنا أن قيمة المقاومة $R_1 = 5K\Omega$ نعوض في المعادلة (1)

$R_f = 2 R_1$

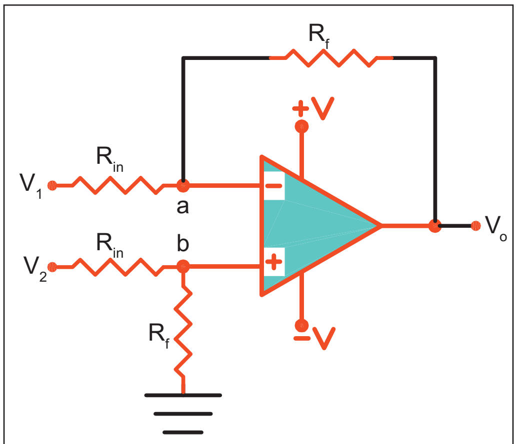
$$R_f = 2 \times 5 = 10K\Omega$$

ثم نعوض في المعادلة 2

$$R_f = 5R_2$$

$$10 = 5R_2 \quad \Rightarrow \quad R_2 = \frac{10}{5} = 2K\Omega$$

٥ مضخم العمليات الطارح:



شكل (١٧) : مضخم عمليات طارح

يستخدم مضخم العمليات الطارح لطرح إشارتين من بعضهما البعض و يعمل على تكبير حاصل الطرح بقيمة تحددها قيم المقاومات في دارة الطارح، تبرز أهمية الطارح في العديد من أنظمة التحكم بحيث يتم الحصول إشارة تتناسب مع حاصل طرح إشارة احد مجسات التحكم من جهد مرجعي لنظام التحكم . ويجمع الطارح بين كل من مضخم العمليات العاكس و غير العاكس، يبين الشكل (١٧) دارة مضخم عمليات طارح ، ولإيجاد قيمة جهد الخرج بدلالة مداخلة سوف نتعامل مع تأثير كل مدخل لوحده على الخرج و من ثم نقوم بجمع التأثيرين لنحصل على التأثير الكلي(Super Position) .

و لنبدأ أولاً بفرض أن $V_2 = 0$ فأن المضخم يصبح مضخم عمليات عاكس يكون مخرجة كما يلي :

$$V_{o1} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_1 \qquad \text{.........} 1$$

بفرض أن $V_1 = 0$ فأن الجهد على المدخل غير العاكس يُحسب باستخدام مجزئ الجهد و يعطى بالعلاقة التالية :

$$V_b = \left(\frac{R_f}{R_f + R_{in}}\right) V_2$$

و المضخم فيكون مضخم عمليات غير عاكس، مخرجة كما يلي

$$V_{o2} = \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1\right) V_b$$

$$= \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1\right) \times \left(\frac{R_f}{R_f + R_{in}}\right) V_2$$

$$= \frac{R_f + R_{in}}{R_{in}} \times \left(\frac{R_f}{R_f + R_{in}}\right) V_2 = \frac{R_f}{R_{in}} V_2$$

وبناءً عليه فإن الجهد الكلي يكون مجموع الخرجين V_{o1}, V_{o2}

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} \quad \Rightarrow \quad V_o = -\frac{R_f}{R_{in}} V_1 + \frac{R_f}{R_{in}} V_2$$

$$V_o = \frac{R_f}{R_{in}}(V_2 - V_1) \quad \text{.............................} \quad (5)$$

مثال (١):

في مضخم العمليات الطارح المبين في الشكل(١٧)، إذا علمت أن:

$V_1 = 4.2V, \quad V_2 = 5V, \quad R_f = 10K\Omega \quad , R_{in} = 2K\Omega$

جد قيمة جهد الخرج ؟

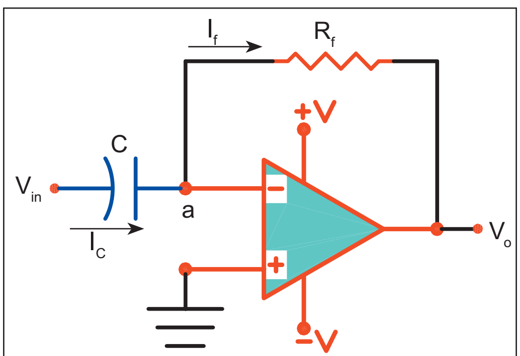
الحل:

نكتب العلاقة التي تربط الخرج بالدخل

$$V_o = \frac{R_f}{R_{in}}(V_2 - V_1)$$

$$V_o = \frac{10}{2}(5 - 4.2) = 4V$$

٦ مضخم العمليات المفاضل:



شكل (١٨): مضخم عمليات مفاضل

يبين الشكل(١٨) دارة مضخم عمليات في توصيلة مفاضل حيث تقوم هذه الدارة بحساب معدل التغير في الجهد بالنسبة للزمن، وفيما يلي نبين كيفية استنباط علاقة الخرج بالدخل:

على فرض أن المضخم مثالي، يكون $V_a=0$

حسب اتجاهات التيار المفروضة يكون التيار المار في مقاومة التغذية العكسية

$$I_f = \frac{V_a - V_0}{R_f} = -\frac{V_0}{R_f}$$

أما تيار المواسع فيعتمد على معدل تغير الجهد على أطرافه مع الزمن ويعطى بالعلاقة التالية

$$I_c = C\frac{d(V_{in} - V_a)}{dt} = C\frac{dV_{in}}{dt}$$

و بتطبيق قانون كيرشوف حول النقطة a يكون $I_f = I_C$

$$-\frac{V_0}{R_f} = C\frac{dV_{in}}{dt}$$

$$V_o = -R_f C\frac{dV_{in}}{dt} \quad \text{.............................} \quad (6)$$

يلاحظ من العلاقة السابقة أن جهد الخرج يتناسب طردياُ مع كل من معدل تغير جهد الدخل بالنسبة للزمن، وسعة المواسع، و المقاومة، ويطلق على المقدار $\tau = R_f C$ الثابت الزمني للمفاضل .

حالات خاصة :

١ إذا كان جهد الدخل مستمراً (غير متناوب) يكون جهد الخرج صفر القيمة لأن معدل التغير في جهد الدخل يساوي صفر .

٢ إذا كان جهد الدخل متناوبا على شكل موجة جيبيه على صيغة $V_{in}(t)=V_{max}\ Sin2\pi ft$ فإن جهد الخرج يعطى بالعلاقة التالية

$$V_o = -R_f C \frac{dV_{in}}{dt}$$

$$= -2\pi f\ R_f C\ V_{max}\ Cos\ 2\pi ft$$

يلاحظ أن :

١ جهد الخرج و جهد الدخل لهما نفس التردد وبينهما فرق في الطور مقداره 90^o، حيث تتم إزاحة موجة الدخل بمقدار 90^o إلى اليمين .

٢ العلاقة بين جهد الخرج و التردد علاقة طردية .

مثال (١):

في دارة مضخم العمليات المفاضل المبين في الشكل إذا علمت أن $R_f = 10K\Omega,\ C = 0.1\mu F$

اوجد :

١ الثابت الزمني للمفاضل؟

٢ ارسم إشارة جهد الخرج V_o إذا كان جهد الدخل موجة جيبيه اتساعها 5V و ترددها 125Hz .

الحل :

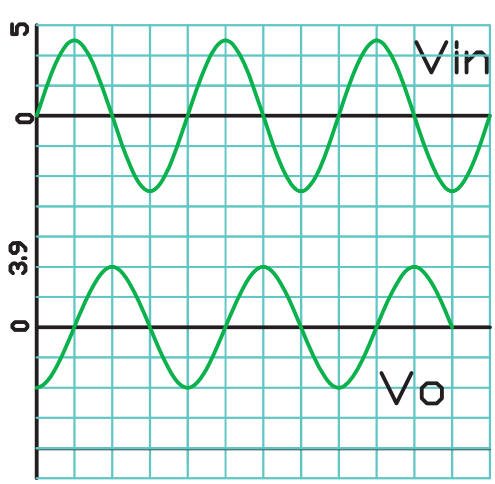
١ الثابت الزمني

$$\tau = R_f C$$
$$= 10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}$$
$$= 10^{-3} sec$$

٢ جهد الخرج

$$V_{in} = V_{max}\ Sin\ 2\pi ft$$
$$= 5\ Sin\ 2\pi \times 125\pi t$$
$$= 5\ Sin\ 250\pi t$$
$$V_o = -2\pi f\ R_f C\ V_{max}\ Cos\ 2\pi ft$$
$$= -2\pi \times 125 \times 10^{-3} \times 5 Cos\ 250\pi t$$
$$= -3.9\ Cos\ 250\pi t$$

ويبين الشكل (١٩) كل من إشارتي الدخل و الخرج .



الشكل (١٩)

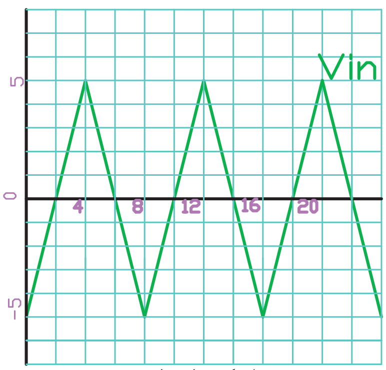
مثال (١):

في دارة مضخم العمليات المفاضل المبين في الشكل (١٨) إذا علمت أن : $R_f = 10K\Omega, \quad C = 0.1\mu F$

اوجد :

١ الثابت الزمني للمفاضل .

٢ ارسم إشارة جهد الخرج V_o إذا كان جهد الدخل كما هو مبين في الشكل(٢٠) ؟



الشكل (٢٠)

الحل :

الثابت الزمني للمفاضل :

$$\tau = RC$$
$$= 10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}$$
$$= 10^{-3} sec$$

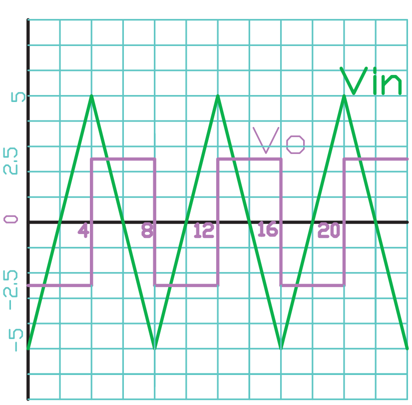
في الفترة من 0-4 ملي ثانية ، العلاقة خطية متزايدة و المشتقة(التفاضل) تساوي ميل الخط المستقيم كما يلي :

$$S = \frac{dV_{in}}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$
$$= \frac{5-(-5)}{4\times10^{-3}-0} = 2500$$
$$V_o = - R_f C \frac{dV_{in}}{dt}$$
$$= - 10^{-3} \times 2500$$
$$= -2.5 \text{ V}$$

في الفترة من 4-8 ملي ثانية ، العلاقة خطية متناقصة و المشتقة تساوي ميل الخط المستقيم كما يلي :

$$S = \frac{dV_{in}}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$
$$= \frac{-5 - 5}{8\times10^{-3}-4\times10^{-3}} = -2500$$
$$V_o = - R_f C \frac{dV_{in}}{dt}$$
$$= - 10^{-3} \times -2500$$
$$= +2.5 \text{ V}$$

و الشكل (٢١) يوضح شكل إشارة جهد الدخل والخرج ، ويلاحظ أن المفاضل يعمل على تحويل الموجة المثلثة إلى موجة مربعة .



الشكل (٢١)

٧ مضخم العمليات المكامل:

يبين الشكل(٢٢) دارة مضخم عمليات في توصيلة مكامل ، حيث تقوم هذه الدارة بتجميع إشارة الدخل

ضمن فترة زمنية محددة، وفيما يلي نبين كيفية استنباط علاقة الخرج بالدخل :

على فرض أن المضخم مثالي، فإن $V_a = 0$

حسب اتجاهات التيار المفروضة يكون التيار المار في مقاومة الدخل R_{in} .

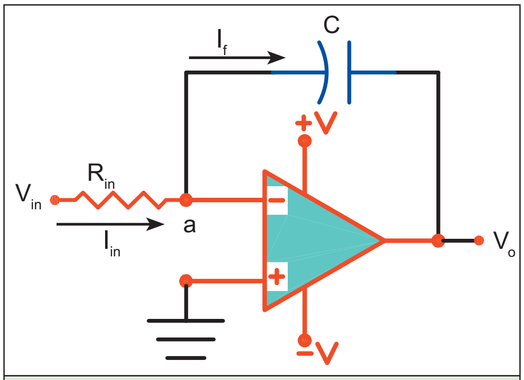
$$I_{in} = \frac{V_{in} - V_a}{R_{in}}$$

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

أما تيار المواسع فيعتمد على معدل تغير الجهد على أطرافه مع الزمن ويعطى بالعلاقة التالية

$$I_f = c\,\frac{d(V_a - V_o)}{dt}$$

$$= -c\,\frac{dV_o}{dt}$$



شكل (٢٢): مضخم عمليات مكامل

و بتطبيق قانون كيرشوف حول النقطة a يكون

$$I_f = I_{in}$$

$$-c\,\frac{dV_o}{dt} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$\frac{dV_o}{dt} = -\frac{V_{in}}{R_{in}C}$$

$$dV_o = -\frac{V_{in}}{R_{in}C} \times dt$$

للحصول على V_o نجري تكامل لكلا الطرفين

$$\int dV_o = -\int \frac{V_{in}}{R_{in}C} \times dt$$

$$V_o = -\frac{1}{R_{in}C}\int V_{in} \times dt \quad \text{.................................(7)}$$

يلاحظ من العلاقة السابقة أن جهد الخرج يتناسب عكسياً مع كل من سعة المواسع، و المقاومة، ويطلق على المقدار $\tau = R_{in}C$ الثابت الزمني للمكامل .

حالات خاصة :

١ إذا كان جهد الدخل مستمراً (غير متناوب) يكون جهد الخرج $V_o = -\frac{V_{in}}{R_{in}C}\,t$.

٢ إذا كان جهد الدخل متناوباً على شكل موجة جيبية على صيغة $V_{in}(t) = V_{max}\,\text{Sin}2\pi ft$

فإن جهد الخرج يعطى بالعلاقة التالية :

$$V_o = -\frac{1}{R_{in}C}\int V_{in} \times dt$$

$$= -\frac{V_{max}}{R_{in}C}\int \text{Sin}2\pi ft\,dt$$

$$= \frac{V_{max}}{2\pi f\,R_{in}C}\,\text{Cos}\,2\pi ft$$

لاحظ أن :

١ جهد الخرج و جهد الدخل لهما نفس التردد وبينهما فرق في الطور مقداره 90°، حيث تتم ازاحة موجة الدخل بقدار 90° إلى اليسار .

٢ إن علاقة جهد الخرج بالتردد علاقة عكسية .

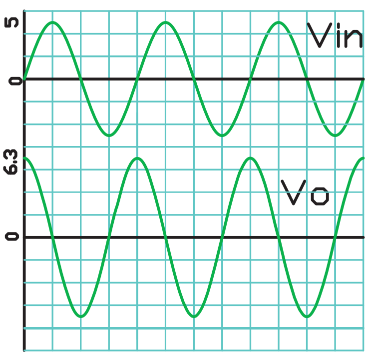
مثال (١):

في دارة مضخم العمليات المبين في الشكل(٢٢) إذا علمت أن $R_{in} = 10K\Omega, C = 0.1\mu F$

جد :

١ الثابت الزمني للمكامل .

٢ ارسم شكل جهد الخرج Vo إذا كان جهد الدخل موجة جيبيه اتساعها 5V و ترددها 125Hz .



الشكل (٢٣)

الحل :

١ الثابت الزمني للمكامل

$$\tau = R_{in}C$$
$$= 10 \times 10^{3} \times 0.1 \times 10^{-6}$$
$$= 10^{-3} sec$$

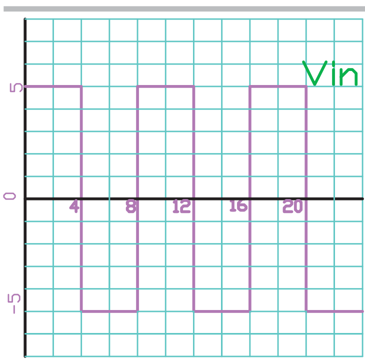
٢ جهد الخرج

$$V_{in} = V_{max} \sin 2\pi ft$$
$$= 5 \sin 2\pi \times 125t$$
$$= 5 \sin 250\pi t$$

$$V_o = \frac{V_{max}}{2\pi f R_{in} C} \cos 2\pi ft$$
$$= \frac{5}{2\pi \times 125 \times 10^{-3}} \cos 250\pi t$$
$$= 6.3 \cos 250\pi t$$

ويبين الشكل (٢٣) كل من إشارتي الدخل و الخرج .

مثال (٢):



الشكل (٢٤)

في دارة مضخم العمليات المكامل المبين في الشكل(٢٢)

إذا علمت أن $R_{in} = 250K\Omega, C = 0.1\mu F$ جد:

١ الثابت الزمني للمكامل .

٢ ارسم شكل جهد الخرج V_o إذا كان جهد الدخل كما هو مبين في الشكل(٢٤) ؟

الحل :

الثابت الزمني

$$\tau = R_{in}C$$
$$= 250 \times 10^{3} \times 0.1 \times 10^{-6}$$
$$= 2.5 \times 10^{-2} sec$$

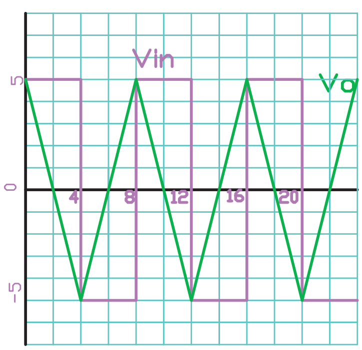
في الفترة من 0-4 ملي ثانية ، تكون إشارة الدخل ثابتة القيمة $V_{in} = 5V$

$$V_o = -\frac{1}{R_{in}C}\int V_{in} \times dt$$
$$= -\frac{1}{2.5 \times 10^{-2}}\int_0^4 5 \times dt$$
$$= -2.5 \times 10^{-2} \times 5\, t \Big|_0^4$$
$$= -2.5 \times 10^{-2} \times 5\,(4 \times 10^{-3} - 0)$$
$$= -5\ V$$

نلاحظ أن إشارة الخرج تبدأ بالتناقص من قيمة سابقة إلى أن تصل في نهاية الفترة إلى نتيجة التكامل -5V

$$V_o = -\frac{1}{R_{in}C}\int V_{in} \times dt$$
$$= -\frac{1}{2.5 \times 10^{-2}}\int_4^8 -5 \times dt$$
$$= -2.5 \times 10^{-2} \times -5\, t \Big|_4^8$$
$$= -2.5 \times 10^{-2} \times -5\,(8 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-3})$$
$$= +5\ V$$

نلاحظ أن إشارة الخرج تبدأ بالتزايد من قيمة سابقة-5V إلى أن تصل في نهاية الفترة إلى نتيجة التكامل 5V



الشكل (٢٥)

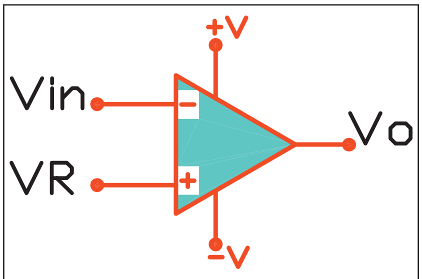
ويبين الشكل (٢٥) إشارة الدخل و الخرج .

ب- التطبيقات اللاخطية:

هناك العديد من التطبيقات اللاخطية لمضخم العمليات التي لا يتغير فيها الخرج بشكل خطي مع تغير الدخل ، وفيما يلي تفصيل لبعض هذه التطبيقات :

١ المقـــارن:

يعتمد خرج المقارن على نتيجة المقارنة بين إشارة المدخل العاكس والمدخل الغير عاكس دون وجود تغذية راجعة من الخرج إلى الدخل . ويبين الشكل (٢٦) دارة مضخم عمليات في توصيلة مقارن ، حيث يمثل الجهد V_R قيمة مرجعية للمقارنة و يمثل الجهد V_{in} إشارة الدخل



شكل (٢٦): مضخم عمليات مقارن

$V_o = A_V(V_R - V_{in})$

إن لعملية المقارنة بين إشارتي المدخلين حالات ثلاث وهن :

1. $V_{in} < V_R \Rightarrow V_o = +V$
2. $V_{in} = V_R \Rightarrow V_o = 0$
3. $V_{in} > V_R \Rightarrow V_o = -V$

60μV

في الحالة الأولى، الجهد المطبق بين مدخلي مضخم العمليات يكون موجب الإشارة وبالتالي يرتفع جهد الخرج إلى جهد التشبع الموجب نظراً لمعامل التضخيم العالي لمضخم العمليات كونه في دارة مفتوحة .

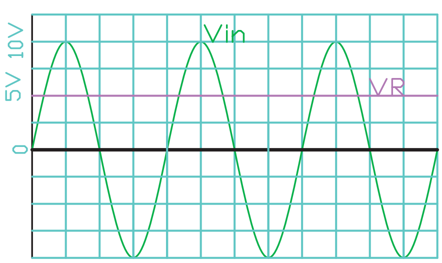
إما في الحالة الثانية فان الجهد المطبق بين مدخلي المضخم يساوي الصفر وكذلك المخرج .

وأخيرا في الحالة الثالثة، الجهد المطبق بين مدخلي مضخم العمليات يكون سالب الإشارة، وبالتالي يرتفع جهد الخرج إلى جهد التشبع السالب نظراً لمعامل التضخيم العالي لمضخم العمليات كونه في دارة مفتوحة .

يطلق على دارة المقارن في بعض الأحيان الكاشف الصفري إذا كان الجهد المرجعي يساوي صفراً (V_R=0) .

مثال (١):

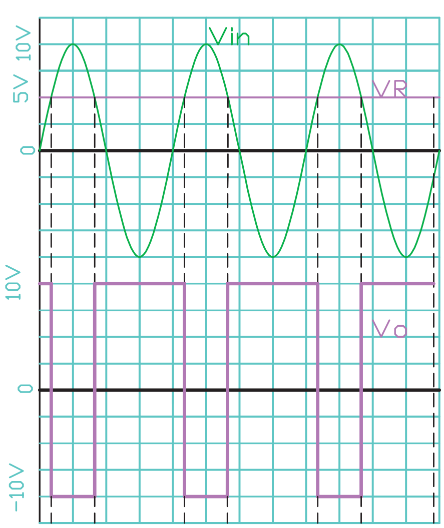
ارسم شكل إشارة الخرج للمقارن المبين في الشكل (٢٦) إذا كانت إشارة المداخل كما في الشكل (٢٧) علماً بأن جهود التغذية للمقارن ±10V ؟



الشكل (٢٧)

الحل :

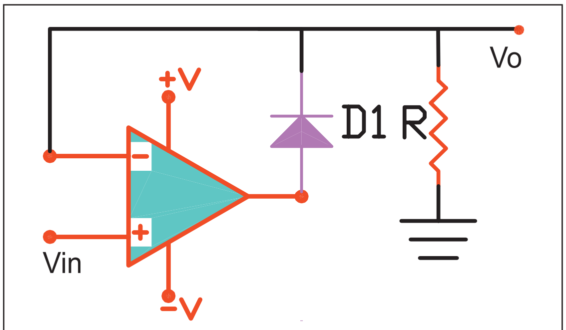
نقوم بتطبيق المتباينات السابقة للمقارنة، ففي الجزء الأول من الموجة الجيبية تكون القيم اللحظية المدخلة على المدخل العاكس اقل من قيمة خط المقارنة المدخلة على المدخل غير العاكس، وعليه يرتفع الخرج إلى قيمة جهد التغذية الموجب للمضخم (+10V) ويبين الشكل (٢٨) كيفية تغير الخرج مع تغير الدخل .



الشكل (٢٨)

٢ المقومات الدقيقة:

إذا ما أدخلنا إشارة صغيرة اتساعها اقل من جهد الانحياز الأمامي للثنائي على دارة مقوم فان الخرج يكون صفراً، حيث إن جهد الإشارة لا يستطيع وضع الثنائي في حالة الانحياز الأمامي، وللتغلب على ذلك يستعمل مضخم العمليات حيث يتم و صل ثنائي في دارة التغذية الراجعة كما في الشكل (٢٩). وعلى فرض أن معامل التضخيم للمضخم 10^5 مرة وجهد البدء في التوصيل للثنائي 0.6V فأن جهد الدخل الكافي لوضع الثنائي في حالة توصيل أمامي يكون اكبر من 60μV كما يلي:



شكل (٢٩): مقوم نصف موجة دقيق

$$V_{in} = \frac{V_D}{A_V} = \frac{0.6}{10^5} = 6\mu V$$

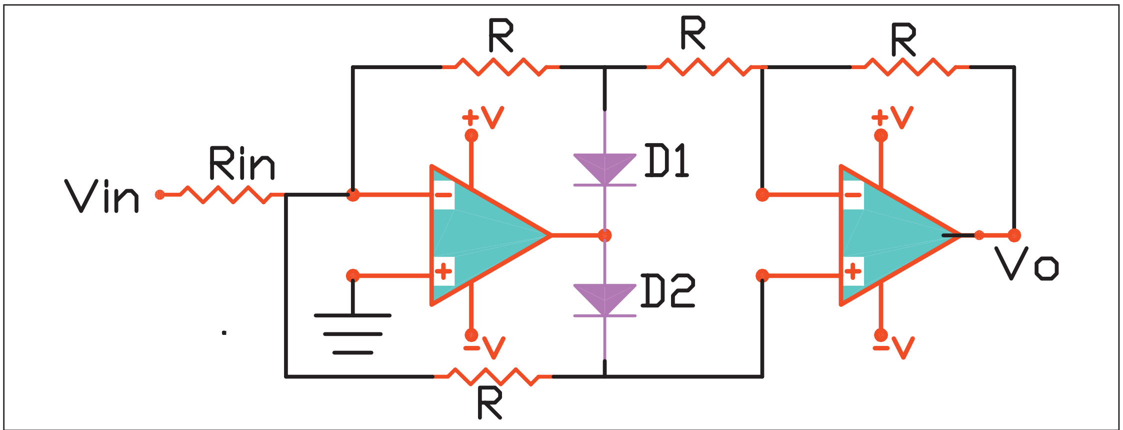
تعمل الدارة السابقة كمقوم نصف موجة، ويطلق على الثنائي في هذه الحالة الثنائي الدقيق، ويمكن ايضا استخدام الثنائي الدقيق لبناء مقوم موجة كاملة. يبين الشكل (٣٠) مقوم موجة كاملة، تتكون الدارة من مسارين يكمل كل منهما دارة مضخم عمليات عاكس معامل تضخيمه $\frac{R}{R_{in}}$، في النصف الموجب لموجة الدخل يكون الثنائي D1 في حالة وصل و D2 في حالة فصل ويكون خرج المضخم كما يلي:

$$V_{in} > 0 \implies V_o = +\frac{R}{R_{in}} V_{in} > 0$$

أما في النصف السالب يكون D1 في حالة فصل و D2 في حالة وصل ويكون خرج المضخم كما يلي:

$$V_{in} < 0 \implies V_o = -\frac{R}{R_{in}} V_{in} > 0$$

و نلاحظ مما سبق ان الدارة تقوم بتقويم كامل الموجة بمعامل تكبير قيمته ($\frac{R}{R_{in}}$).



شكل (٣٠): مقوم موجة كاملة دقيق

مثال (٢):

أدخلت موجة جيبيه ترددها 1KHz و اتساعها $20\mu V$ على دارة مقوم الموجة الكاملة ، اذا كانت قيمة $R_{in}=1K\Omega$ و $R = 100K\Omega$ ارسم شكل كل من موجتي الدخل والخرج .

الحل :

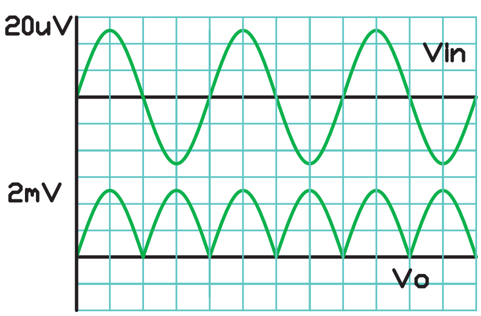
في النصف الموجب للموجة $V_{in} = +20\mu V$ يكون الخرج كما يلي :

$$V_o = \frac{R}{R_{in}} V_{in}$$

$$= + \frac{100}{1} \times 20 \times 10^{-6}$$

$$= 2000 \times 10^{-6}$$

$$= 2\ mV$$



الشكل (٣١)

أما في النصف السالب $V_{in} = -20\mu V$ يكون الخرج كما يلي :

$$V_o = - \frac{R}{R_{in}} V_{in}$$

$$= - \frac{100}{1} \times -20 \times 10^{-6}$$

$$= 2000 \times 10^{-6}$$

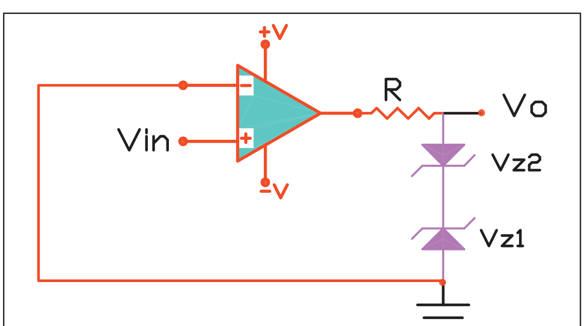
$$= 2\ mV$$

ويبن الشكل (٣١) كل من إشارتي الدخل و الخرج .

٣ توليد وتشكيل الموجات:

يستخدم مضخم العمليات في توليد الموجات المختلفة ، كما يستخدم في تشكيل الموجات (تحويلها من شكل إلى آخر) و سنتناول في هذا الباب بعض هذه الاستخدامات من دون الخوض في تحليلها الرياضي

١ . تحويل موجة جيبية إلى موجة مربعة :

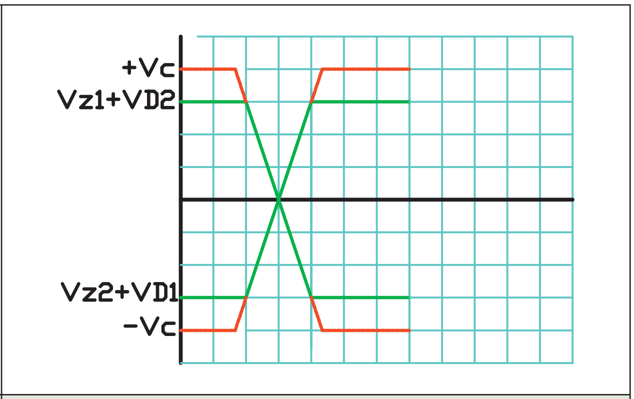


شكل (٣٢) : دارة تحويل موجة جيبية إلى مربعة

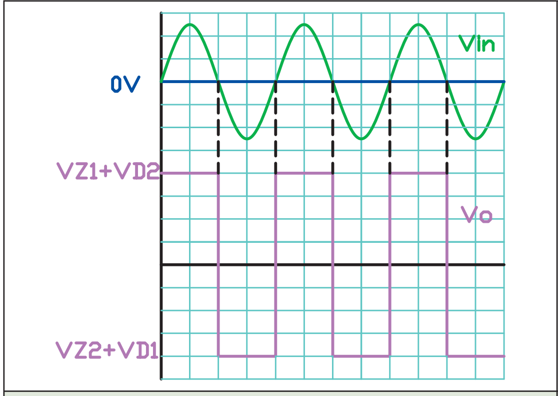
يبن الشكل (٣٢) دارة مضخم عمليات تقوم بتحويل موجة جيبية إلى مربعة يعتمد اتساعها على جهد ثنائي الزينر ، ويتأرجح خرج المضخم بين قيمتين $V_{Z1}+V_{D2}$ و $-(V_{Z2}+V_{D1})$ حيث يعمل ثنائي الزينر على تحديد جهد الدارة دون جهدي التشبع لمضخم العمليات كما في الشكل (٣٣) ، إن دارة التحويل عبارة عن مقارن بجهد مرجعي مقداره صفر .

ففي النصف الموجب للموجة الجيبيه ، تكون فوق الصفر ويتحدد الخرج بالقيمة $V_{Z1}+V_{D2}$ ، أما في النصف

السالب للموجة الجيبية تكون تحت خط المقارنة (الصفر) ويتحدد الخرج بالقيمة $-(V_{Z2}+V_{D1})$ ، الشكل (٣٤) يبين شكل خرج الدارة.



شكل (٣٣): أثر اضافة ثنائي زينر



شكل (٣٤): خرج دارة تحويل موجة جيبية إلى مربعة

٢. توليد الموجة المربعة:

يبين الشكل (٣٥) دارة يستخدم فيها مضخم العمليات للحصول على موجة مربعة الشكل ، تسمى هذه الدارة مذبذب متعدد الاهتزاز غير مستقر ، و يتلخص عملها فيما يلي:

إن جهد المدخل الغير عاكس يعطى من مجزئ الجهد بواسطة R_1,R_2

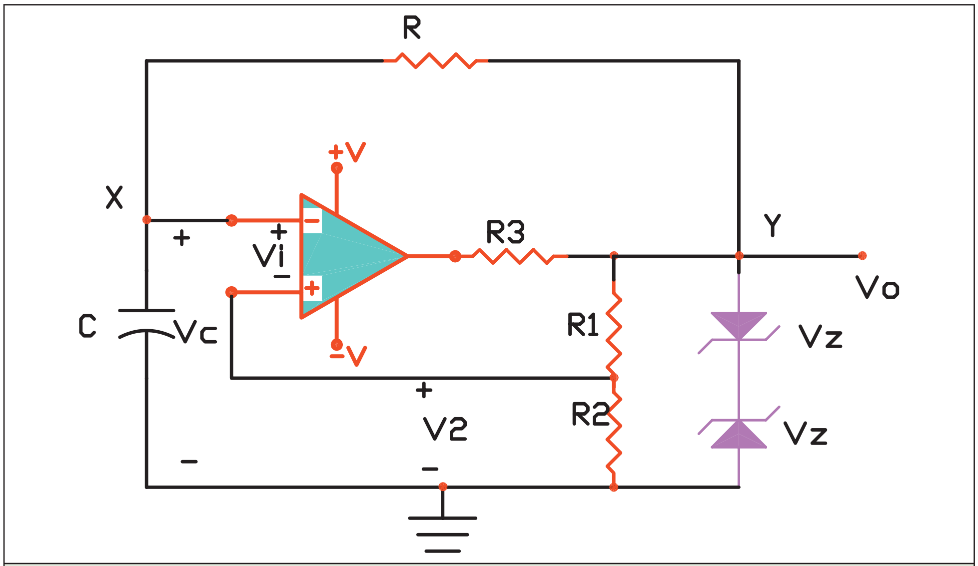
$$V_2 = \frac{R_2}{R_2+R_1}V_o$$

$$V_i = Vc - V_2 = Vc - \frac{R_2}{R_2+R_1}V_o$$

ولأن خرج المضخم يتحدد بالاعتماد على قيمة V_i فيكون

$$V_o = V_z + V_D \quad V_i < 0$$

$$V_o = -(V_z+V_D) \quad V_i > 0$$



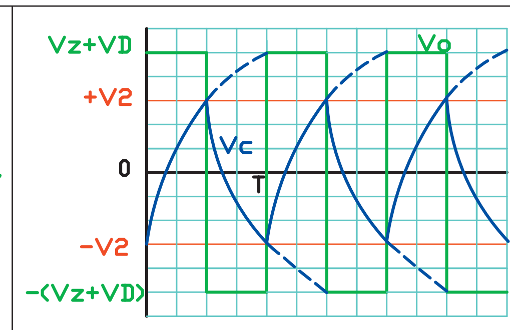
شكل (٣٥): مذبذب متعدد الاهتزاز غير مستقر

فعلى سبيل المثال إذا كان $V_i < 0$ فهذا يعني أن $V_2 < V_c$ حيث يبدأ المكثف بالشحن باتجاه أعلى قيمة

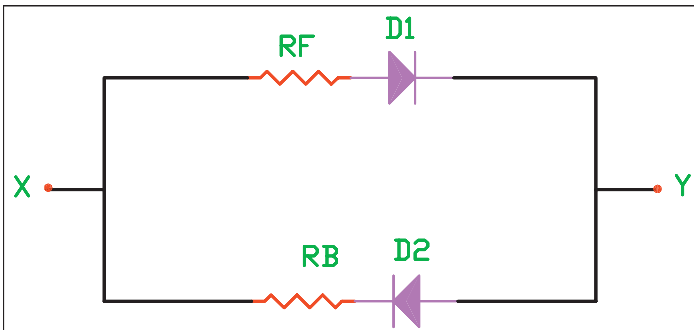
للجهد الخرج (V_z+V_D) ولكن ما أن يتساوى مع جهد $(V_2=\frac{R_2}{R_1+R_2}V_o)$ فأنة يتوقف عن الشحن و يبدأ بالتفريغ باتجاه أدنى قيمة لجهد الخرج $-(V_z+V_D)$، إلى أن يتساوى جهده مع جهد $(V_2=-\frac{R_2}{R_1+R_2}V_o)$ فيتوقف عن التفريغ و يبدأ بالشحن من جديد و هكذا، أما بالنسبة للزمن الدوري للموجة فيعتمد على كل من قيمة المكثف C والمقاومات R, R1, R2 ويعطى بالعلاقة التالية :

$$T = 2RC\, ln\{1+\frac{2R_1}{R_2}\}$$

ويبين الشكل (٣٦) عملية شحن وتفريغ المكثف وخرج الدارة .



شكل (٣٦): خرج المذبذب غير المستقر



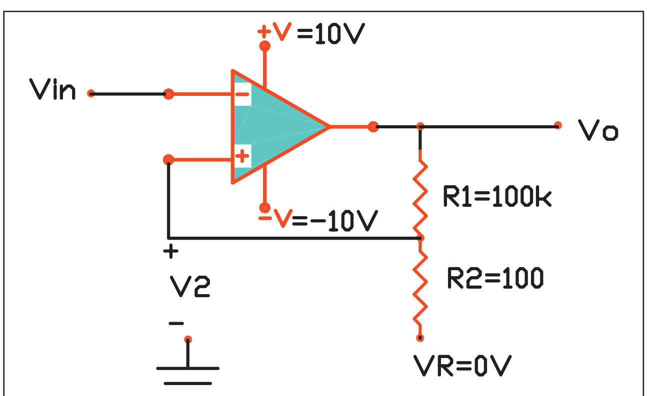
شكل (٣٧)

سؤال :

ماذا يحدث إذا ما استبدلت المقاومة R الموصولة بين النقطتين X,Y بالدارة التالية المبينة في الشكل(٣٧)؟

٣ . قادح شميت :

يبين الشكل (٣٨) دارة قادح شميت حيث تم توفير تغذية راجعة موجبة للمضخم، بواسطة مجزئ الجهد المكون من المقاومتين R_1, R_2، وتبرز أهمية هذه الدارة في حصر تأثير الضجيج أو التشويش عن دارة المضخم وفيما يلي توضيح لكيفية عملها :



شكل (٣٨): قادح شميت

لنفرض أن جهود تغذية المضخم هي ±10V، وخرج المضخم في حالة التشبع الموجب V_o = +10V وهذا الجهد تم تغذيته إلى الطرف الغير عاكس الذي يصبح جهده

$$V_2=\frac{R_1}{R_1+R_2}V_o$$

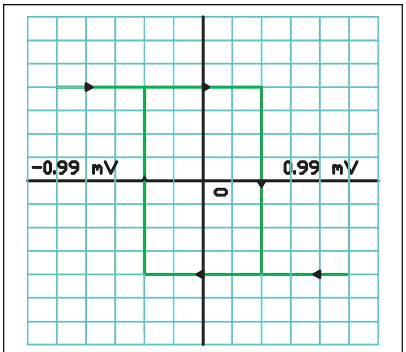
$$=\frac{100}{1000+100}x10 = 99mV$$

وهذا يعني أن الخرج يكون عند قيمة جهد الإشباع الموجب إذا كان V_{in}<99mV

وأما إذا كان المضخم في حالة التشبع السالب V_o =-10V وهذا الجهد تم تغذيته إلى الطرف الغير عاكس الذي يصبح جهده

$$V_2 = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_o$$
$$= \frac{100}{1000+100} x -10 = -99mV$$

وهذا يعني أن الخرج يكون عند قيمة جهد الإشباع السالب إذا كان $V_{in} >$ - 99mV، يبين الشكل (٣٩) منحنى خواص قادح شميت، حيث يبين الشكل أنه إذا كان جهد الدخل V_{in} ذا قيمة عالية موجبة يكون الخرج $-V_o$، ويجب أن يقل جهد الدخل عن قيمة 99mV- حتى يعود المضخم الحالة التشبع الموجبة، أما إذا كان جهد الدخل V_{in} ذا قيمة عالية سالبة يكون الخرج $(+V_o)$، ويجب أن يزيد جهد الدخل عن قيمة +99mV لكي يعود المضخم إلى حالة التشبع السالبة $(-V_o)$، و يكون عرض التداخل (198mV= 99m V+ -99mV)، ويطلق على التداخل بالجهد الهستيري Hysteresis Voltage .

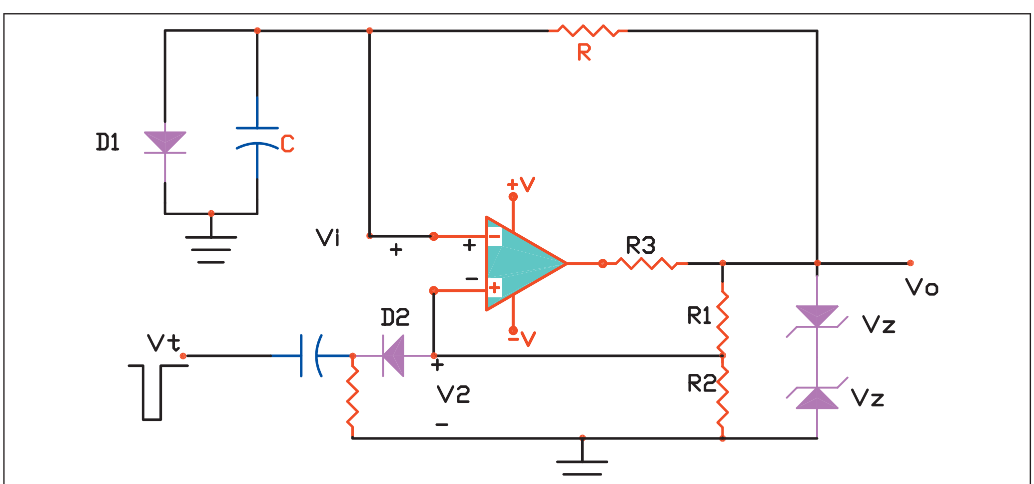


شكل (٣٩): خرج دارة قادح شميت

ويلاحظ أن منطقة الجهد الهستيري تتماثل حول الصفر (V_R= 0) وبالإمكان إزاحة هذه المنطقة يمينا أو يساراً عن طريق جهد مرجعي $V_R \neq 0$ يوصل على طرف R_2.

٤ . مولد النبضات متعدد الاهتزاز أحادي الاستقرار Monostable Multivibrator.

إن للمولد أحادي الاستقرار حالة استقرار واحدة و حالة عدم استقرار واحدة، حيث يبقى المولد في حالة الاستقرار إلى أن يتم قدحه بنبضة خارجية، حيث يتحول إلى حالة عدم الاستقرار لفترة معينة T تحددها عناصر دارة المولد.

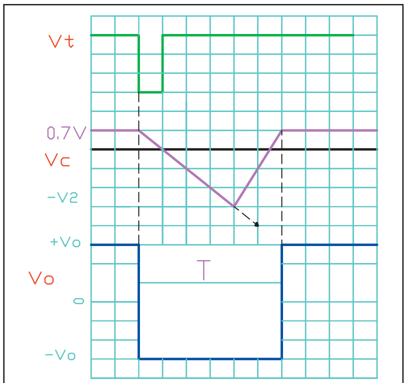


شكل (٤٠): مذبذب متعدد الاهتزاز احادي الاستقرار

يستخدم المولد في تطبيقات عديدة مثل دارات التوقيت، دارات تشكيل النبضات(تحويل سلسلة من النبضات

العشوائية الى نبضات موحدة الاتساع والتردد).

يبين الشكل(٤٠) دارة مضخم عمليات في توصيلة مذبذب متعدد الاهتزاز أحادي الاستقرار، لو فرضنا ان المذبذب في حالة الاستقرار عند جهد الخرج الموجب (V_z+V_D)، فإن الثنائي D_1 يكون في حالة وصل وعلية يكون الجهد على المدخل العاكس $V_1=0.7V$ (لماذا ؟)، أما المدخل غير العاكس فيتحدد جهده بواسطة مجزئ الجهد $V_2=\frac{R_2}{R_2+R_1}V_o$ ، الآن إذا تم التأثير بنبضة قدح سالبة القيمة يتجاوز اتساعها قيمة V_2 فإن الثنائي D_2 سيتحول إلى حالة الوصل ليصبح الجهد على المدخل غير العاكس سالب القيم فيتحول خرج المضخم إلى قيمته السالبة $-(V_z+V_D)$، عندها يتحول الثنائي D_1 إلى حالة الانحياز العكسي فيبدأ المكثف بالشحن بقطبية معاكسة باتجاه جهد الخرج السالب من خلال المقاومة R ، ولكن ما أن يتجاوز الجهد علية الجهد على المدخل الغير عاكس V_2 حتى يعود خرج المضخم إلى قيمته الموجبة، فيبدأ المكثف بالتفريغ في الثنائي، وتستقر قيمة الجهد علية $V_1= 0.7$ ويبقى كذلك إلى أن يقدح من جديد و الشكل(٤١) يوضح ذلك. ويعطى زمن حالة عدم الاستقرار بالمعادلة التالية:



شكل (٤١): خرج مذبذب احادي الاستقرار

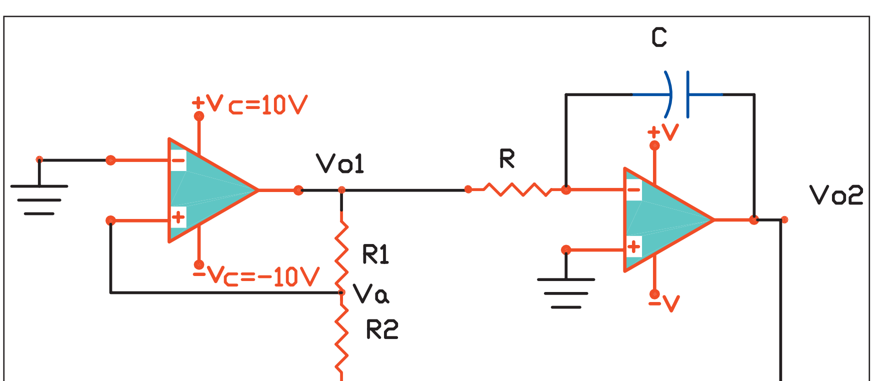
$$T = RC\, ln \frac{[1+\frac{0.7}{V_0}]}{[1-\frac{R_2}{R_1+R_2}]}$$

و كحالة خاصة إذا كان $V_o>>0.7$ و $R_1 = R_2$ فإن زمن عدم الاستقرار يكون

$$T = 0.69RC$$

٥ . توليد الموجة المثلثة :

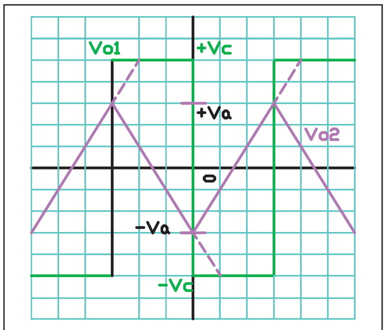
يمكن الحصول على موجة مثلثة إذا رُبط خرج دارة توليد الموجة المربعة إلى دارة مكامل، وسنتناول طريقة أخرى للحصول على موجة مثلثة باستخدام قادح شميت مع مكامل كما هو موضح في الشكل(٤٢).



شكل (٤٢): مولد موجات مربعة ومثلثة

على فرض أن خرج قادح شميت عند قيمة التشبع السالبة للمضخم، حيث يعتبر هذا الجهد السالب دخلاً

لدارة المكامل التي تنتج بدورها إشارة جهد خطي موجب يتم تغذيته إلى المقاومة R_2 حيث يؤثر ذلك على جهد النقطة a، فإذا ما أصبح جهدها ذات قيمة مناسبة لحدوث انقلاب في دارة قادح شميت $V_a = V_{o1}\frac{R_2}{R_1}$ فإن جهد الخرج V_{o1} يتحول إلى جهد التشبع الموجب، حيث يبدأ المكامل بالعمل على مكاملة هذا الجهد الموجب ليعطي خرجاً ذا قيم متناقصة والتي تؤثر في جهد النقطة a حتى تصبح قادرة على حدوث انقلاب في عمل دارة قادح شميت $V_a = -V_{o1}\frac{R_2}{R_1}$ ويبين الشكل (٤٣) الموجات المتشكلة في الدارة، أن تردد الموجة المتشكلة يعطى بالعلاقة التالية :



شكل (٤٣): خرج مولد الموجة المثلثة

$$f = \frac{R_1}{4R_2RC}\ \text{Hz}$$

ما ورد من تطبيقات في هذه الوحدة ليس إلا جزء يسير من قائمة تطبيقات واسعة لمضخم العمليات لا مجال لها في هذه الوحدة نذكر منها :

١ المرشحات بأنواعها Filters
٢ محولات الإشارة التمثيلية إلى رقمية A/D converters .
٣ محولات الإشارة الرقمية إلى تمثيلية D/A converters
٤ بعض دارات المذبذبات كمذبذب قنطرة واين Wien Bridge .
٥ دارات التوقيت مثل المؤقت 555.
٦ دارات تنظم الجهد Voltage Regulation Circuits كما سيمر معك لاحقاً في الوحدة الثالثة .
٧ دارات أخذ العينة Sample And Hold Circuits.

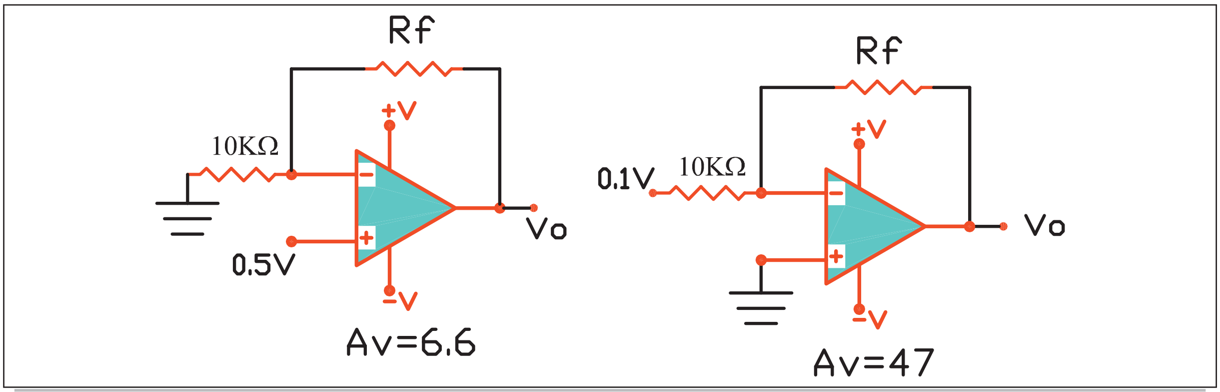
أسئلة الوحدة:

١ ما هو مضخم العمليات؟

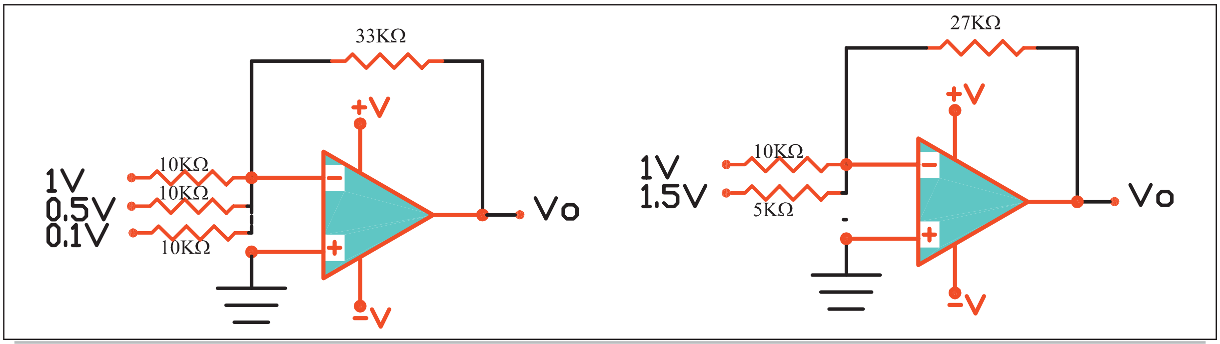
٢ ما المقصود بالمدخل العاكس و غير العاكس؟

٣ ما المزايا التي توفرها التغذية الراجعة السالبة في مضخم العمليات؟

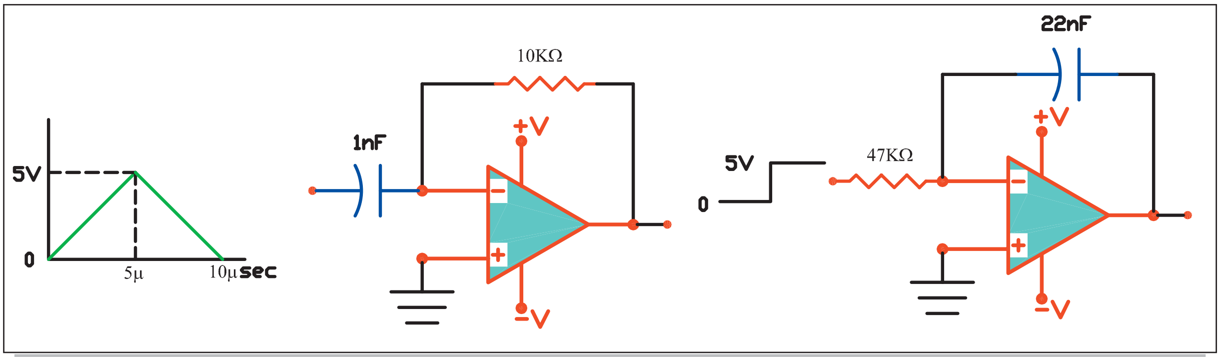
٤ جد قيم المقاومة R_f و جهد الخرج للدارتين في الشكل التالي .



٥ اوجد قيم جهد الخرج للدارتين في الشكل التالي؟

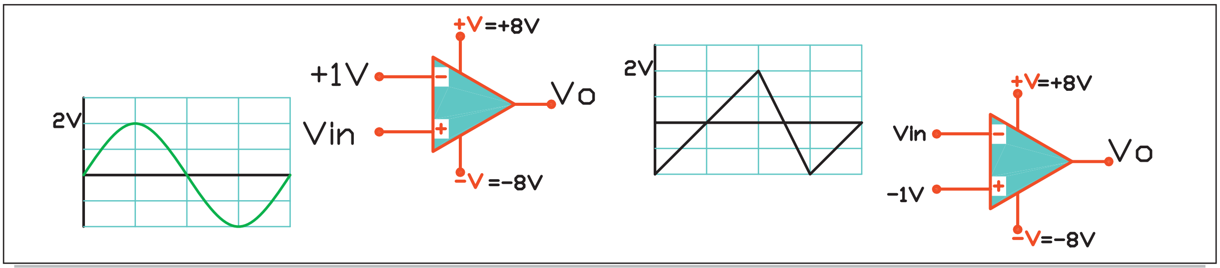


٦ ارسم شكل إشارة الخرج لكل من دارة المفاضل المكامل في الشكل التالي . إذا كانت إشارة الدخل كما هو موضح بجانب كل منهما .



٧ اشرح عمل دارة مولد الموجة المربعة .

٨ في الدارة التالية ارسم شكل إشارة الخرج مع الشرح .



٩ كيف يمكن حماية مضخم العمليات من عكس قطبيّ جهدي التغذية ، وضح إجابتك بالرسم؟

١٠ المطلوب تصميم دارة مكبر عمليات جامع يحسب المعادلة التالية :

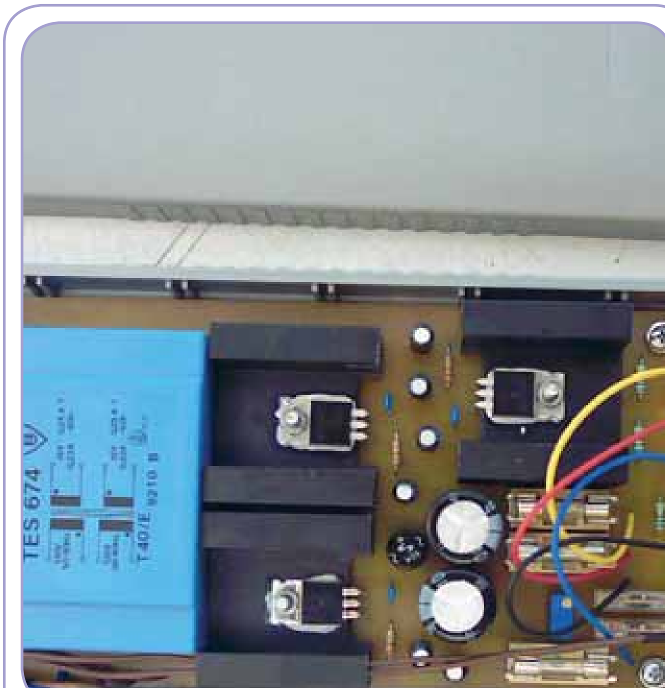
$$-V_o = 6V_1 + 4V_2 + 3V_3$$

إذا علمت أن $R_f = 150K\Omega$ جد قيمة كل من R_3 ، R_2 ، R_1؟

الوحدة

٣

منظمات القدرة

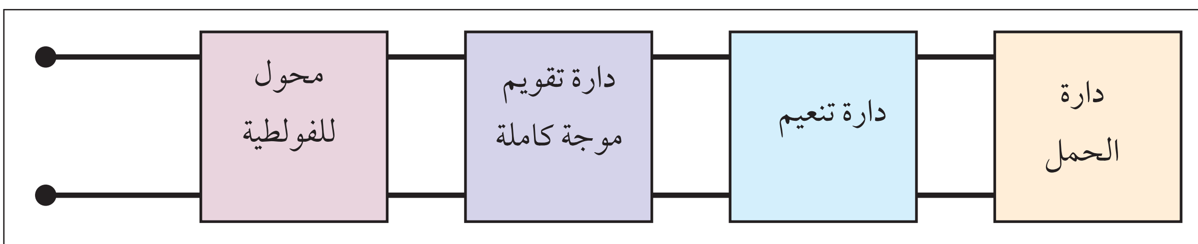


(١) الحاجة إلى التغذية بالتيار المستمر

تحتاج الأجهزة الألكترونية إلى التزود بفولطية ثابتة مستمرة من أجل أن تعمل الترانزستورات والدارات الرقمية التي بداخلها والعناصر الألكترونية الأخرى. ويفترض في هذه الفولطية أن تكون ثابتة القيمة ولا تتغير عند تغيير ظروف التشغيل إلا في حدود معينة مسموح بها تصل إلى 1% من القيمة الإسمية للفولطية التي يعمل عليها الجهاز.

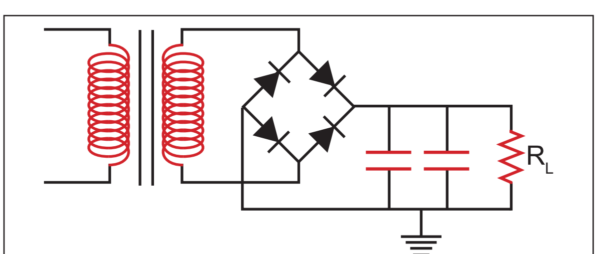
يمكن الحصول على التيار المستمر إما باستخدام البطاريات أو بتقويم التيار المتناوب، والطريقة الثانية هي الأكثر شيوعاً من الناحية العملية، إذ أن البطاريات بحاجة إلى شحن باستمرار أو تبديل بالإضافة إلى حجمها وعوامل أخرى.

مر معنا سابقاً الدارات التي تقوم بتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر باستخدامات الثنائيات والتي يمكن تمثيلها بالمخطط الصندوقي التالي:



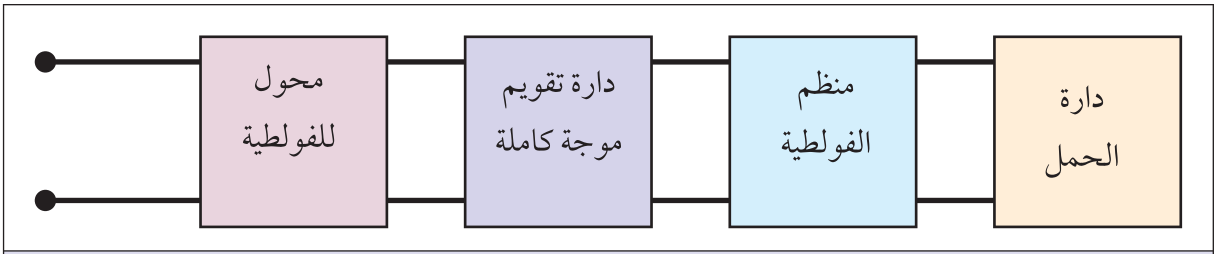
شكل (١-أ): المخطط الصندوقي لمصدر تغذية بالتيار المستمر

ويلاحظ من هذا المخطط أن أي تغير في الفولطية المتناوبة الداخلة إلى المحول سيؤدي إلى تغير في الفولطية الداخلة إلى الحمل، ويسبب هذا التغيير اضطراباً في عمل الأجهزة الدقيقة. ولذلك لا بد من إضافة دارة تقوم بتثبيت الفولطية الواصلة إلى الحمل. كذلك فإن تغيير قيمة الحمل يؤدي إلى تغيير قيمة التيار الذي يسحبه من مصدر التغذية، وهذا يؤدي إلى هبوط في الفولطية على طرفي الحمل. ولذلك تبرز الحاجة إلى منظمات القدرة.



شكل (١-ب): دارة تحويل التيار المتناوب الى تيار مستمر

ويمكن تمثيل مصدر التغذية بوجود منظمات الفولطية بالمخطط الصندوقي التالي :

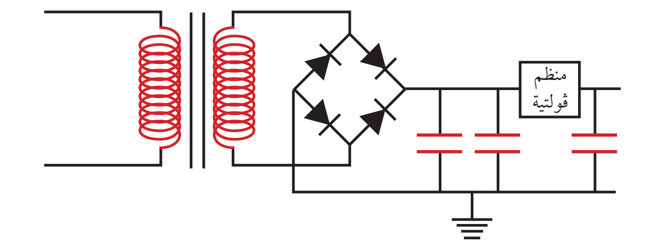


شكل (٢) : المخطط الصندوقي لمصدر تغذية بالتيار المباشر باستخدام منظم فولطية

يقوم منظم الفولطية بالحفاظ على قيمة الفولطية على طرفي الحمل عند قيمة معينة بغض النظر عن قيمة الفولطية الداخلة إلى المنظم وذلك ضمن حدود معينة ، أي أن خرج المنظم يكون عند قيمة V_o مثلاً مع تغيير في قيمة فولطية الدخل للمحول عن مدى محدد

$$V_{min} < V_{in} < V_{max}$$

فعلى سبيل المثال أجهزة التلفاز الحديثة تعمل بشكل جيد في مدى 90-V240 فولطاً من المنبع .

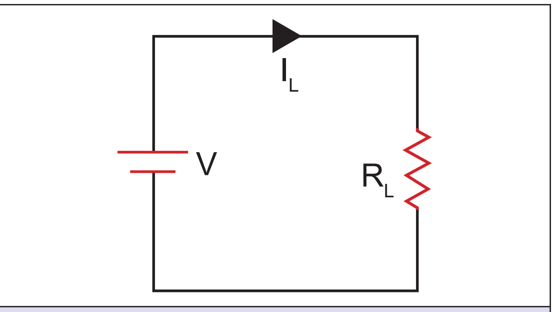


شكل (٢) : المخطط التمثيلي لمصدر تغذية منظم

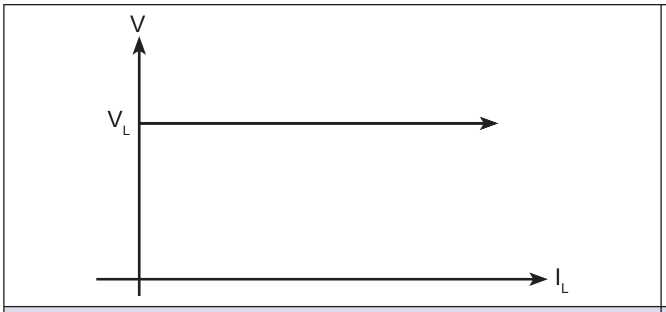
مصدر التغذية المثالي:

يتم التعبير عن مصدر التغذية المثالي ببطارية تعطي جهداً ثابتاً، بغض النظر عن التيار الذي يسحبه الحمل مقاومتها الداخلية صفراً .

ففي الشكل (٣) تكون قيمة الفولطية على طرفي الحمل هي V بغض النظر عن التيار الذي يسحبه الحمل .
ويمكن التعبير عن ذلك بيانياً كما في الشكل (٤) :



شكل (٣) : الدارة المكافئة لمصدر تغذية مثالي مع حمل R_L

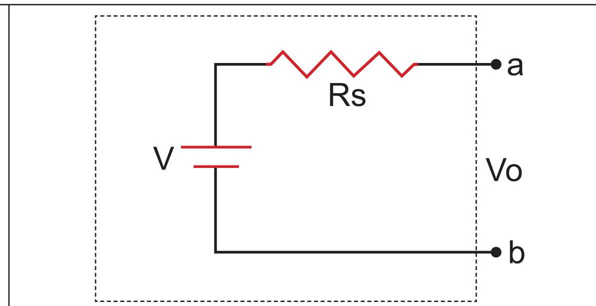


شكل (٤) : العلاقة بين تيار الحمل وفولطية الحمل في مصدر التغذية المثالي

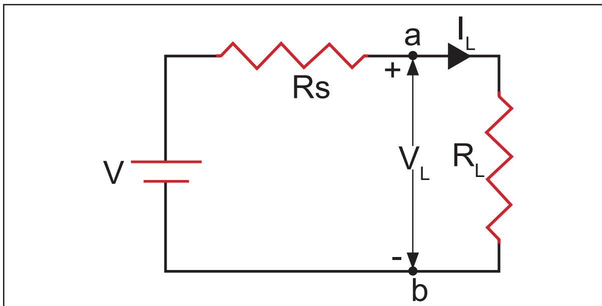
لاحظ أن قيمة الفولطية تبقى ثابتة مهما كانت قيمة التيار الذي يسحبه الحمل .

مصدر التغذية الحقيقي:

يتم التعبيرعن مصدر التغذية الحقيقي ببطارية لها مقاومة داخلية قيمتها R_S متصلة على التوالي مع جهد مقداره V كما في الشكل (٥). ويكون الجهد V_{oc} في حالة اللاحمل يساوي V .
وعند توصيل حمل بين طرفي مصدر التغذية تصبح الداره كما يلي ، شكل (٦).



شكل (٥): الدارة المكافئة لمصدر التغذية الحقيقي



شكل (٦): حمل موصول مع مصدر التغذية الحقيقي

من الشكل (٦) باستخدام قانون كيرشوف للفولطية نستنتج أن

$$V_L = V - I_L\ R_s \text{ ....} (1)$$

أي أن الفولطية على طرفي الحمل تساوي V مطروحاً منها هبوط الجهد على المقاومة R_S نتيجة التيار الذي يسحبة الحمل R_L . لاحظ أنه كلما زادت قيمة التيار I_L فإن الهبوط في الفولطية V_L يزداد.

مثال (١):

اذا علمت أن $R_S = 50\,\Omega$ ، جد قيمة V_L عند قيم R_L التالية :

$10\ K\Omega$ ، $1K\Omega$ ، 100Ω

الحل :

1) $R_L = 100\Omega$

$$I_L = \frac{10}{10+50} = 66.6\ mA$$

$$V_L = 10 - 66.6\ 10^{-3} \times 50 = 6.66\ V$$

2) $R_L = 1K\ \Omega$

$$I_L = \frac{10}{1000+50} = 9.5\ mA$$

$$V_L = 10 - 9.5 \times 10^{-3} \times 50 = 9.525\ V$$

3) $R_L = 10K\ \Omega$

$$I_L = \frac{10}{10000+50} = 995\ \mu A$$

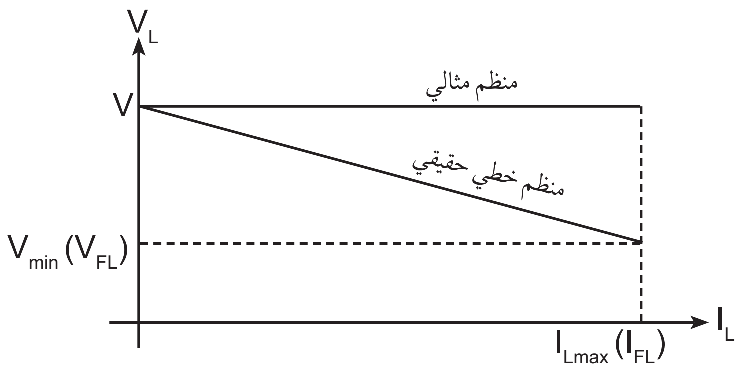
$$V_L = 10 - 995 \times 10^{-6} \times 50 = 9.95\ V$$

ويمكن التعبير عن العلاقة $V_L = V - I_L R_S$ كما في الشكل (٧):

ويلاحظ من هذا الشكل الحالتان التاليتان :

١ عندما يكون $I_L = 0$ وفي هذه الحالة تكون $V = V_{OC} = V_L$ وهذه هي حالة اللاحمل .

٢ عندما يكون I_{Lmax}، تكون في هذه الحالة $V_{min} = V_L$، وهذه هي حالة الحمل الكامل أو الحمل الإسمي، وبالتالي فمن غير الممكن أن تتم الحفاظ على قيمة الفولطية عند تغير قيمة تيار الحمل . ولذلك هناك حاجة لعملية تنظيم الفولطية عند تغير قيمة تيار الحمل .



شكل (٧) : المنظم المثالي والحقيقي

مفهوم تنظيم الفولطية : هو الحفاظ على خرج جهد ثابت للدارة مع تغير الحمل .

ويعطى بالعلاقة التالية :

$$Reg = \frac{V_{oc} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \quad ....(2)$$

$$V_{FL} = R_L \times I_L$$

$$Reg = \frac{V_{oc} - R_L I_L}{R_L I_L} \times 100\% \quad ....(3)$$

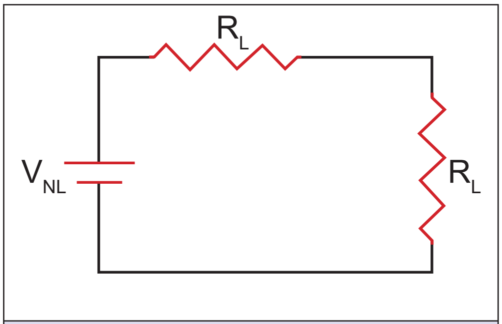
ومن المعادلة (1) نستنتج أن :

$$I_L = \frac{V_{oc} - V_L}{R_S}$$

وبالتعويض في معادلة (2)

$$Reg = \frac{R_S}{R_L} \times 100\% \quad ....(4)$$

ويمكن اشتقاق نسبة التنظيم من الدارة الموضحة في الشكل (٨) .



شكل (٨) : دارة لاشتقاق نسبة التنظيم

$$R_{FL} = \frac{V_{FL}}{I_{FL}}$$

$$V_{FL} = \frac{R_{FL}}{R_{FL} + R_S} \times V_{OC}$$

إذاً :

$$Reg = \frac{V_{oc} - \frac{R_{FL}}{R_{FL} + R_s} \times V_{oc}}{\frac{R_{FL}}{R_{FL} + R_s} \times V_{oc}} \times 100\% = \frac{R_S}{R_{FL}} \times 100\%$$

مثال (٢):

إذا كانت المقاومة الداخلية لمصدر تغذية 1.5Ω، وكان I_{FL} = 0.5A وقيمة الحمل هي 50Ω .

١ احسب نسبة التنظيم   ٢ احسب V_{OC} .

الحل :

1) $V_{FL} = I_{FL} R_{FL} = 0.5 \times 50 = 25\ V$

$$Reg = R_S \frac{I_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

$$= 1.5 \frac{0.5}{25} \times 100\% = 3\%$$

2) $V_{OC} = V_L + I_L R_S$

$$V_{OC} = 25 + 0.5$$

$$= 50\ V$$

تكون نسبة التنظيم في المنظم المثالي صفراً، ومن المعادلة السابقة نلاحظ أن كلما كانت المقاومة الداخلية للمصدر أصغر كانت نسبة التنظيم أفضل .

مثال (٣):

احسب قيمة التنظيم في الدارة المبينة في الشكل (٩) عند استخدام قيم R_L الآتية :

R_L=1KΩ ، R_L=10KΩ ، R_L =100 KΩ

الحل :

١ عندما تكون R_L=1KΩ

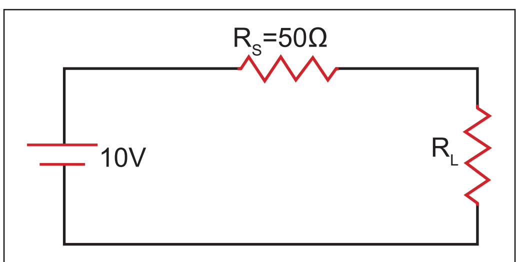
$$Reg= \frac{50}{1000} \times 100\% = 5\%$$

٢ عندما تكون R_L=10KΩ

$$Reg = \frac{50}{10000} \times 100\% = 0.5\%$$

٣ عندما تكون R_L=100KΩ

$$Reg = \frac{50}{100000} \times 100\% = 0.05\%$$

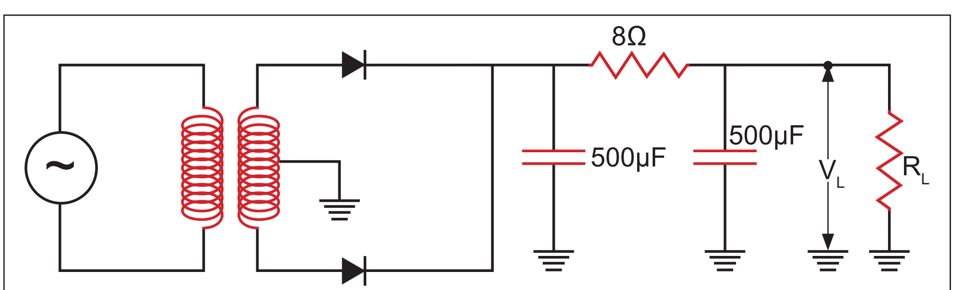


شكل (٩) : مثال (٣)

لاحظ أنه كلما زادت R_L كانت نسبة التنظيم أفضل .

مثال (٤):

الدارة التالية المبينة في الشكل (١٠) إذا كان الثنائي مثالياً ومقاومة المحول مهملة جد نسبة التنظيم إذا كان تيار الحمل

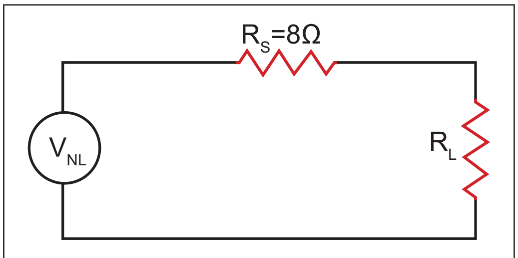


شكل (١٠) : مثال (٤)

الكامل يساوي 2A وفولطية الحمل الكامل 15V .

الحل :

بما أن الثنائي مثالي ومقاومة المحمول مهملة فإن يمكن تبسيط الدارة على النحو التالي كما في الشكل (١١) .



شكل (١١) : الدارة المكافئة للدارة في الشكل (١٠)

$$Reg = R_S \times \frac{I_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

$$= 8 \times \frac{12}{15} \times 100\% = 106.6\%$$

يوضح هذا المثال أن مقاومة التوالي التي تستخدم في الترشيح لتقليل التموج تؤدي إلى ضعف التنظيم، لاحظ أن V_{oc} في هذا المثال هي :

$$V_{oc} = Reg \times V_{FL} + V_{FL} = 1.06 \times 15 + 15$$

$$= 30.9 \text{ V}$$

التغير في الفولطية 15.9V = 15 - 30.9 فولطاً بين فولطية اللاحمل والحمل الكامل . وهذا مثال على مصدر تغذية غير منظم، إذ أنه لا توجد دارة مصممة لتصحيح أو التعويض عن أثر التغير في مقاومة الحمل، وبالتالي فهذا المصدر غير مناسب لمعظم التطبيقات التي يمكن أن يتغير فيها الحمل على نطاق واسع من القيم .

منظم الخط: (Line regnlation)

نسبة تنظيم الخط هي طريقة لقياس قدرة مصدر التغذية للحفاظ على فولطية خرج ثابتة، وفي هذه الحالة تقيس حساسية فولطية الخرج للتغيرات التي تحصل في فولطية الدخل وليس التغيير في فولطية الحمل، ويعبر عنه عادة كنسبة التغير في فولطية الخرج التي تحصل لكل تغيير مقداره واحد فولط في فولطية الدخل مع بقاء الحمل ثابتاً .

فمثلاً إذا كان مقدار تنظيم الخط 1% ، فهذا يعني أن فولطية الخرج ستتغير بمقدار 1% إذا تغيرت فولطية الدخل 1فولط .

نسبة تنظيم الخط

$$\frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta V_{in}} = L\,Reg$$

فمثلاً إذا كانت فولطية الدخل لمصدر تغذية مقدارها 20 فولطاً تتغير بمقدار ±5 فولط، فإن فولطية الخرج متوقع أن تتغير بمقدار .

$$5V \times 1\%V = 5\%$$

$$0.05 \times 20 = 1 \text{ V}$$

المنظم : هو عبارة عن عنصر أو مجموعة عناصر الكترونية تصمم للحفاظ على فولطية خرج ثابتة لمصدر التغذية قدر الإمكان، ويمكن تصوره على أنه نظام تحكم مغلق ؛ لأنه يراقب فولطية الخرج وعلى أثرها يولد تغذية

راجعة تقوم تلقائياً بزيادة أو انقاص الخرج . وبالتالي فإن الهدف من استعمال المنظم هو عدم إحداث أي تغير في فولطية الخرج والذي قد يحدث بسبب تغيير الحمل، أو تغيير فولطية الدخل، أو التغير في درجة الحرارة .

المكونات الأساسية للمنظم:

يتكون المنظم من المكونات الأساسية التالية :

١-فولطية مرجعية مستقرة.

يتكون المنظم في أبسط صورة من مقاومة وثنائي زنير كما مر معنا في الفصل الأول . وأن ثاني الزينر يعمل في حالة الانحياز العكسي عند فولطية انهيار محددة تسمى فولطية زنير V_z . وهذه الفولطية تبقى ثابتة مع تغيير تيار الحمل . وبالتالي فثنائي الزينر يعمل كمصدر فولطية مثالي بغض النظر عن التيار المسحوب منه . ولهذا فإن ثنائي الزينر يستخدم كفولطية مرجعية في دارات المنظمات الأخرى طالما بقي يعمل في حالة الانحياز العكسي، أو في منطقة الانهيار .

٢- عنصر يقوم بعمل العينة.

تقوم دارة العينة بتخفيض فولطية إلى مستوى يساوي فولطية المرجع، وذلك لفولطية خرج محددة، عند تغيير فولطية الخرج تتغير فولطية العينة إلى أعلى أو أقل من فولطية المرجع .

٣- مقارن فولطية.

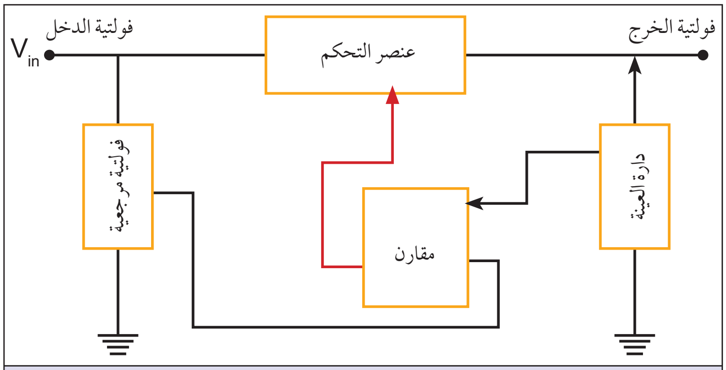
يقوم المقارن بتوليد إشارة تعتمد على الفرق بين فولطية العينة وفولطية المرجع، تغذى هذه الإشارة إلى عنصر التحكم الذي يقوم بعملية التنظيم .

٤- عنصر تحكم مناسب.

يكون عنصر التحكم أحد الأنواع الأربعة التالية :

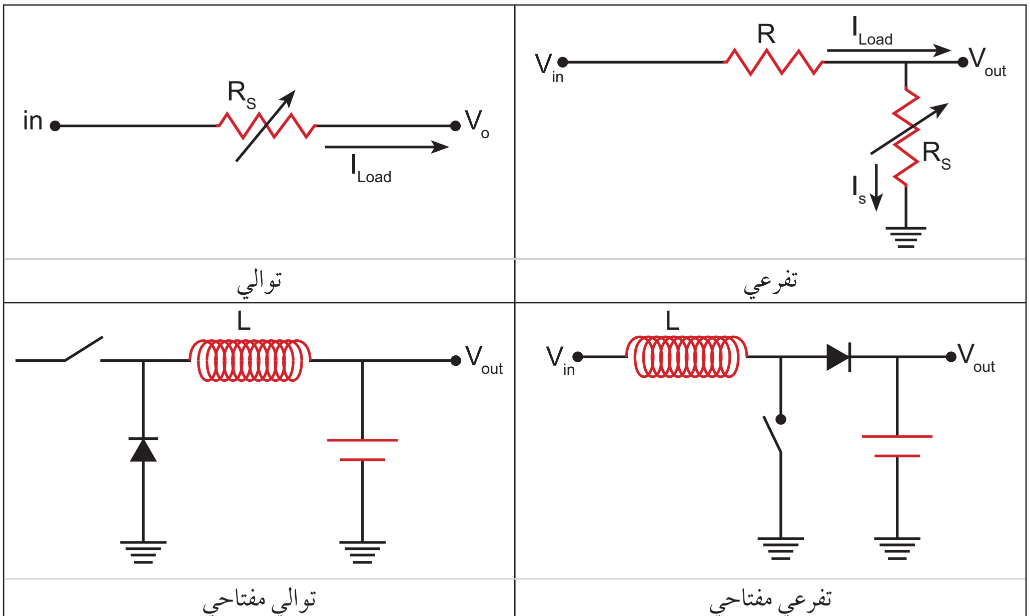
* توالي Series .   * تفرعي Shunt .   * توالي مفتاحي .   *تفرعي مفتاحي .

يبين الشكل (١٢) المكونات الأساسية .



شكل (١٢): المخطط الصندوقي للمنظم

يتم تسمية المنظمات حسب نوع دارة التحكم، ويبين الشكل (١٣) دارات عنصر التحكم .



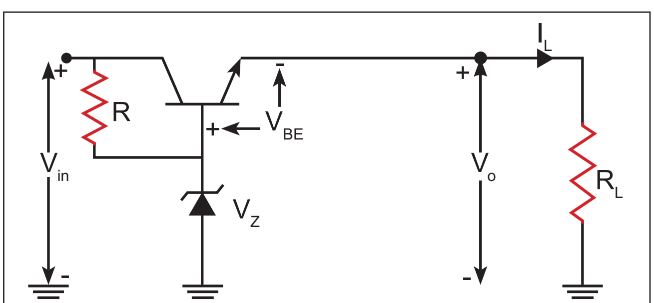
شكل (١٣): الدارات الاساسية لعنصر التحكم

وسنأتي على ذكر هذه الأنواع بالتفصيل .

(٢) المنظمات التسلسلية

يبين الشكل (١٤) دارة منظم تسلسلي بسيط . حيث أن عنصر التحكم هنا هو ترانزستور من نوع NPN ويطلق عليه عادة ترانزستور قدرة ويثبت على مبدد حراري .

يعمل ثنائي الزينر كفولطية مرجعية . وفولطية القاعدة - الباعث للترانزستور هي فولطية التحكم .



شكل (١٤): دارة منظم تسلسلي بسيط

في هذه الدارة لا يوجد دارة عينة ولا دارة مقارن لأن فولطية الخرج جميعها تستخدم كإشارة مرجعية . لاحظ أن ثنائي الزينر يعمل في حالة الانحياز العكسي، وأن تيار الانحياز العكسي يمر من خلال المقاومة R والتي تكون قيمتها عادة صغيرة لإبقاء ثنائي الزينر في منطقة الانهيار العكسي . أيضاً تكون قيمة V_{in} كبيرة بما فيه الكفاية لضمان عمل الدارة . إذن عندما تتغير V_{in} تبقى V_Z تقريباً ثابتة . من قانون كيرشوف، $V_o = V_Z - V_{BE}$

ربما أن هذه المعادلة صحيحة دائماً و V_Z ثابتة، فإن أي تغيير في V_O يجب أن يسبب تغير في V_{BE} . فإذا قلت V_O فإن V_{BE} يجب أن تزداد لأن V_Z ثابتة، وأيضاً إذا زادت V_O، فإن V_{BE} يجب أن تقل . وهذا هو مبدأ عمل الدارة .

عندما تقل V_O، تزداد V_{BE} مما يجعل الترانزستور في حالة توصيل أكبر وينتج تيار مجمع أكبر، وبالتالي تزداد قيمة V_O لأن $V_O = I_L\ R_L$.

فلو فرضنا أن هذا المنظم يزود تيار مقداره 1 أمبير لحمل قيمة (10) أوم. تكون قيمة $V_O = 10V$.

والآن إذا غيرت قيمة R_L إلى 8 أوم فإن $V_O=8V$ ، يؤدي هذا النقص في V_O إلى جعل الترانزستور ليكون في حالة توصيل أكبر مما يزيد التيار إلى 1.25 أمبير.

مما يؤدي إلى استعادة V_O إلى قيمتها السابقة $8x1.25 = 10$ فولط.

مثال (٥):

في الدارة السابقة، شكل (١٤) إذا افترضنا أن:

$$V_z = 12V ,\quad R=200\Omega ,\quad V_{in}=20V$$

إذا كانت $V_{BE} = 0.65V$ جد:

١ V_O ٢ V_{CE} ٣ التيار المار في المقاومة 200 أوم.

الحل:

١ V_O

$$V_O =V_Z - V_{BE} = 12 - 0.65 =11.35 \text{ V}$$

٢ من قانون كيرشوف.

$$V_{CE}=V_{in} -V_o = 20 -11.35 = 8.65 \text{ V}$$

٣ فولطية المقاومة.

$$V_{in}-V_Z = 20 -12 = 8V$$

التيار المار في المقاومة هو

$$I= \frac{8}{200} = 0.04 \text{ A}$$

ولكي يعمل المنظم بشكل جيد فإنه يجب:

١ أن يعمل الترانزستور في المنطقة الفعالة (Active Region).

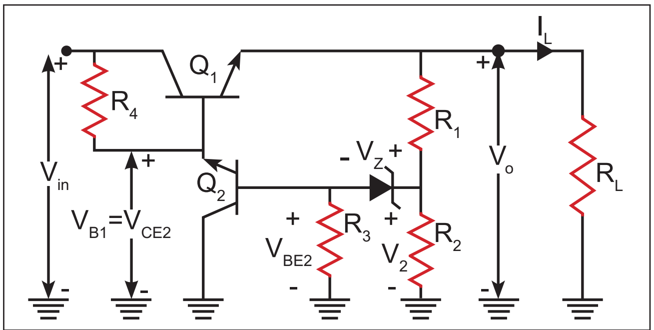
٢ يجب أن لا تنخفض فولطية الدخل V_{in} إلى حد كبير بحيث يصبح الزينر لا يعمل في منطقة الانهيار العكسي.

٣ V_Z ثابتة لا تعتمد على التيار المار في الزينر، ولا على درجة الحرارة.

٤ التغذية الراجعة: يجب أن تكون عالية، بحيث يصبح المنظم حساساً للتغيرات الصغيرة في فولطية الخرج بشكل سريع.

وبالتالي يمكن تحسين عمل المنظم بإضافة ترانزستور في دارة التغذية الراجعة لزيادة الكسب (الحساسية) كما في الدارة التالية، شكل (١٥):

❋ لاحظ أن المقاومتين R_1 , R_2 تشكلان مجزئ فولطية بالنسبة لفولطية الخرج V_O وبالتالي تمثلان دارة العينة التي تنتج V_2 التي تتناسب قيمتها مع V_O.



شكل (١٥) : دارة منظم تسلسلي ذات حساسية عالية

وإذا افترضنا أن تيار ثنائي الزينر قليلاً تكون

$$V_2 = \frac{R_2}{R_2+R_1} V_O$$

وبكتابة قانون كيرشوف حول الحلقة التي تحتوي R_3 , R_2 وثنائي الزينر .

$$V_2 = V_{BE2} + V_Z$$

بما أن V_Z تبقى ثابتة فإن أي نقصان في V_O سيسبب نقصان في V_2، وبالتالي فإن V_{BE2} يجب أن تقل .

وعندما تقل V_{BE2} تزداد V_{CE2} (لاحظ أن الترانزستور Q_2 موصول بطريقة الباعث المشترك)، وبما أن $V_{B1}=V_{CE2}$ فإن توصيل Q_1 يصبح أكبر ، يزداد تيار الحمل وبالتالي V_O.

أيضاً إذا نقصت V_{BE2} فإن توصيل Q_1 يصبح أقل .

كذلك فإن زيادة V_O تؤدي عمل الدارة بعكس ما ذكر أعلاه، وبالتالي يقل تيار الحمل .

مثال (٦):

في المنظم المرسوم في الشكل السابق، إذا كانت V_Z=6.3 V ، 43.75K ، R1= 50K.

جد التغير في VBE2 الذي يحدث إذا نقص VO لمنظم 10 فولط بمقدار 0.1 فولط .

الحل :

V0 = 15V.

V2= R2 /R1+R2 / VO= 43.75/50+43.75*15=67

. . تكون VBE2 حسب العلاقة

VBE2=V2-V2= 7-6.3=0.7 V

عندما تصبح VO= 14.9V تصبح V2 .

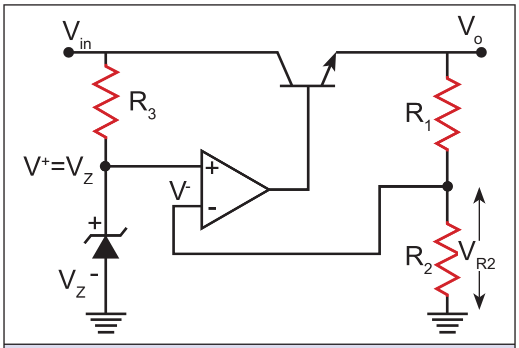
V2 = 43.75/50+43.75*19.9= 6.953V
VBE2 = V-V2
VBE2 = 6.953-6.3
= 0.653V
VBE2 =VBE2- VBE2
= 0.7-0.653=0.047V

استخدام مكبر العمليات في المنظم التسلسلي.

يمثل الشكل (١٦) دارة يستخدم فيها مكبر العمليات في دارة منظم تسلسلي .

تعمل المقاومات R_2 ،R_1 كمجزئ جهد .

$$V_{R2} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_o$$



شكل (١٦) : دارة منظم تسلسلي باستخدام مكبر العمليات

تكون فولطية زنير V_Z على المدخل غير العاكس أكبر من V_{R2} وبالتالي يكون خرج مضخم العمليات موجباً ويتناسب مع V_Z-V_{R2} . إذا قلت V_O ، فإن V_{R2} تقل ، وبالتالي يزداد خرج مضخم العمليات . وهذا يؤدي إلى أن يوصل الترانزستور بشكل أكبر لأن V_{BE} تزداد وعليه تزداد V_O .

وبالمثل فإن زيادة V_O تؤدي إلى زيادة V_{R2} ، ومن ثم تقل V_Z-V_{R2} . ويقل أيضاً خرج مضخم العمليات ، ويقل توصيل الترانزستور في هذه الحالة مما يؤدي إلى تقليل V_O .

بما أن مضخم العمليات في وضع غير عاكس وفولطية الدخل V_Z والكسب $A = 1+\frac{R_1}{R_2}$

وبإجمال هبوط الفولطية في القاعدة - الباعث ، تكون الفولطية المنظمة

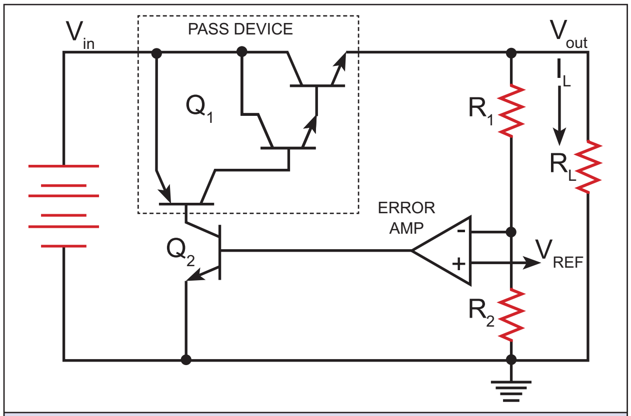
$$V_O = 1+\frac{R_1}{R_2} V_Z$$

يتم اختيار R_3 لضمان مرور تيار عكسي كاف في ثنائي الزينر كي يبقى الأخير في حالة الانهيار العكسي .

أشكال أخرى من المنظمات التسلسلية .

١ استخدام دارة دارلنجتون كعنصر تحكم .

يبين الشكل (١٧) دارة منظم تسلسلي باستخدام دارة دارلنجتون NPN تم تشغيله بواسطة تراتزستور PNP . يتم التحكم بالتيار المار في باعث عنصر التحكم (تيار الحمل) بواسطة الترانزستور Q_2 ومكبر العمليات . يمكن اعتبار التيار المار في مضخم العمليات مهملاً . تعمل R_2,R_1 كمجزئ جهد .

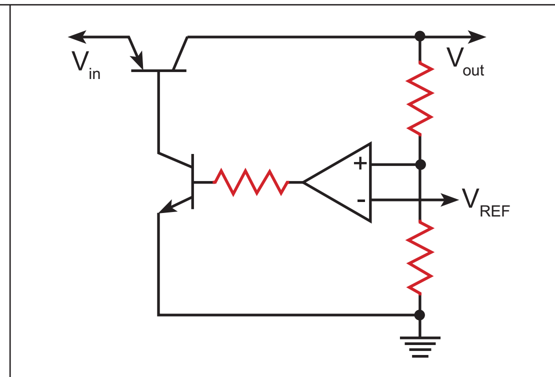


شكل (١٧) : استخدام دارة دارلنجتون في المنظم التسلسلي

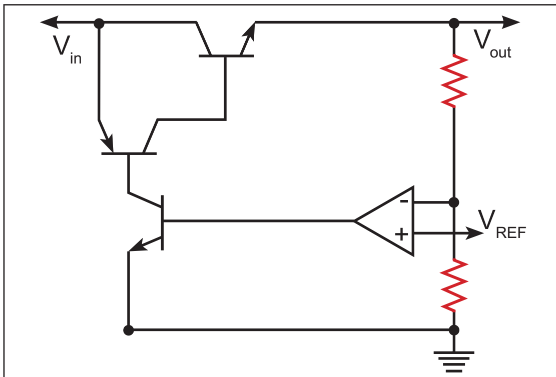
سؤال : اشرح عمل هذه الدارة .

٢ استخدام ترانزستور PNP كعنصر تحكم شكل (١٨) .

٣ استخدام PNP و NPN كعنصر تحكم شكل (١٩) .



شكل (١٨) : استخدام ترانزستور PNP في المنظم

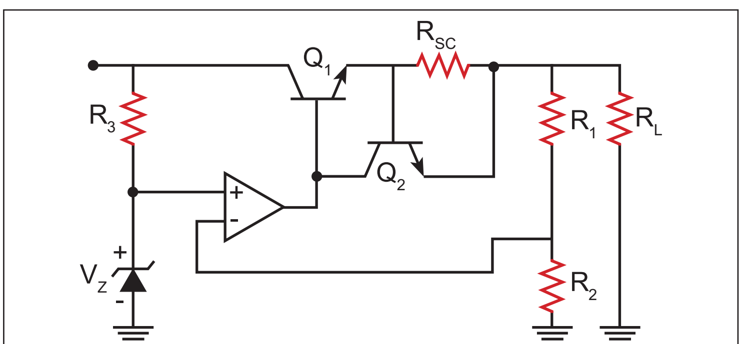


شكل (١٩) : استخدام PNP كعنصر تحكم

سؤال: اشرح عمل المنظمات في الشكلين (١٨ – ١٩) .

محددات التيار في المنظمات الخطية التسلسلية:

يتم تزويد مصدر التغذية بدوائر حماية لحماية المصدر من دارة القصر أو سحب تيار زائد . أحد طرفي الحماية هو تحديد التيار (Current Limiting)، يتم تصميم مصدر التغذية بحيث يحتوي على دارة خاصة التغذية تحدد التيار إلى قيمة قصوى معينة حتى في حالة حدوث دارة قصر على طرفي مصدر التغذية .



شكل (٢٠) : دارة منظم تسلسلي باستخدام مكبر عمليات مع تحديد للتيار

يبين الشكل (٢٠) دارة منظم تسلسلي باستخدام مكبر العمليات مع محدد تيار .

عندما يزداد الحمل فإن هبوط الفولطية على المقاومة R_{sc} يزداد . لاحظ أن المقاومة R_{sc} موصولة على التوازي مع طرفي الباعث والقاعدة للترانزستور Q_2 . إذا أصبح تيار الحمل كبيراً بما فيه الكفاية ليجعل هبوط الفولطية بين طرفي الباعث والقاعدة للترانزستور Q_2 يساوي 0.7 فولط ، فإن تيار المجمع للترانزستور Q_2 يصبح كبيراً أي أنه بدلاً من يدخل التيار إلى قاعدة الترانزستور Q_1 يدخل إلى مجمع الترانزستور Q_2 وبهذه الحالة يمنع الترانزستور Q_1 من تزويد تيار أكبر إلى الحمل .

ويعطى التيار الذي يمكن سحبه من مصدر التغذية في حالة حدوث دارة قصر بالعلاقة :

$$I_{L\,max} = \frac{0.7}{R_{SC}}$$

مثال (٧):

المنظم في الشكل(٢٠) يحافظ على فولطية خرج مقدارها 25 فولط .

١ ما قيمة R_{SC} التي يجب استعمالها كي يصبح التيار الأقصى 0.5A؟

٢ باستخدام قيمة R_{SC} في البند (١)، ما قيمة فولطية الخرج إذا كانت $R_L = 10\Omega$. $R_L = 100\Omega$؟

الحل :

١ $R_{SC} = 0.7 / I_{Lmax} = 0.7/0.5 = 1.4\Omega$

٢ يجب أن نعرف قيما إذا كانت المقاومة 100 Ω ستحسب تياراً أكبر من 0.5 A عند فولطية الخرج 25فولط .

$$I_L = 25/100 = 0.25A$$

بما أن $I_{L\,max} > 0.25$ A، إذاً تبقى فولطية الخرج 25 فولطاً .

إذا استخدمنا $R_L = 10\Omega$ ، فإن

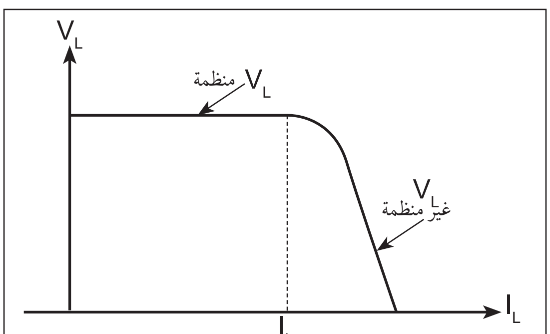
$$I_L = 25/10 = 2.5\ A$$

بما أن $I_{L\,max} < 2.5A$، فإنه سيحدث في هذه الحالة تحديد للتيار ، وستصبح فولطية الخرج تساوي

$$V_O = I_{Lmax}\ R_L$$

$$= 0.5 \times 10$$

$$= 5\ V$$



شكل (٢١) : منحنى تحديد التيار في المنظمات التسلسلية

يوضح هذا المثال أن فولطية الخرج للمنظم ذي محدد تيار تقل إذا تم استخدام مقاومة حمل أقل من المقاومة التي تسحب أقصى تيار I_{Lmax} عند فولطية التنظيم .

ويوضح الشكل (٢١) منحنى تحديد التيار .

لاحظ من المنحنى أن تيار الحمل ممكن أن يزيد عن I_{Lmax} كلما اقترب المنظم من شروط حدوث القصر $V_L=0$.

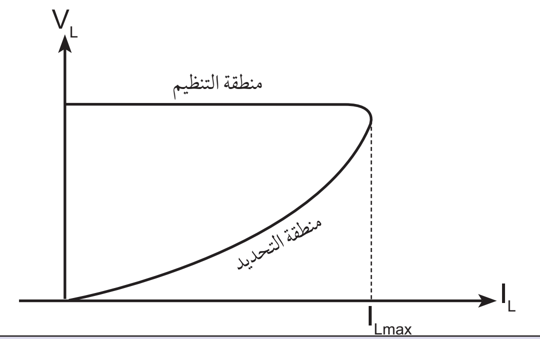
التحديد المطوي Foldback Limiting

يستخدم التحديد المطوي للتيار كوسيلة أخرى من وسائل حماية المنظم . وفي هذ الحالة يتم تقليل التيار والفولطية إذا تم استخدام مقاومة حمل أقل من المقاومة التي تسحب أقصى تيار عند فولطية التنظيم تقل V_O عند استخدام مقاومة حمل أقل .

في حالة التحديد المطوي يتم توظيف هذا النقص لتقليل التيار الذي يمر في الحمل ، أما إذا انخفضت مقاومة الحمل عن حد معين (أقل من R_{Lmin}) فإنه يتم تخفيض كلاً من التيار والفولطية . وعند حدوث دارة قصر على

مخرج المنظم فإن التيار I_L و V_L يقتربان من الصفر .

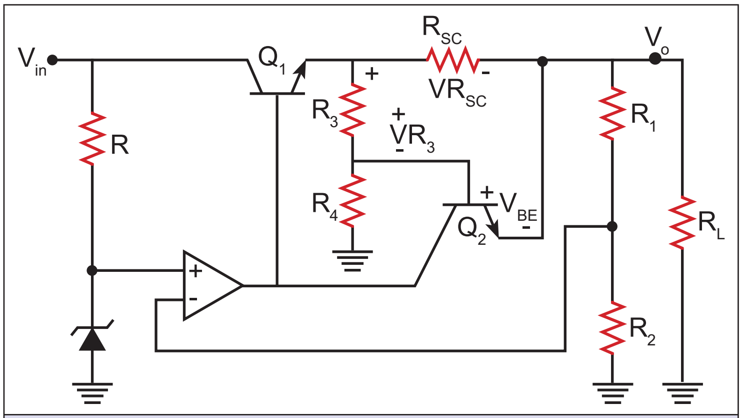
ويمثل الشكل (٢٢) منحنى التحديد المطوي .



شكل (٢٢) : منحنى التيار في التحديد المطوي

لاحظ أن الغرض من هذا التحديد هو حماية المنظم نفسه وحماية الحمل من التيار الزائد الذي قد يتسبب في تلفه .

وبتعديل بسيط على الدارة في الشكل (٢١) يتم تحويلها إلى دارة تحديد مطوي . والدارة المعدلة كما في الشكل (٢٣) .



شكل (٢٣) : منظم فولطية مع تحديد تيار مطوي

لاحظ أن الفرق بين الدارتين هو أن قاعدة الترانزستور Q_2 موصولة مع مجزئ الجهد R_3 , R_4 .

باستخدام قانون كيرشوف للفولطية .

$$V_{BE2} = V_{RSC} - V_{R3}.$$

لاحظ أن V_{R3} سوف تزيد أو تقل إذا زادت أو قلت فولطية الحمل .

عندما يزداد التيار إلى حدة الأقصى يصبح V_{RSC} كبيرة بما فيه الكفاية لجعل V_{BE} تساوي تقريباً 0.7 فولط . أي أن V_{RSC} أكبر من V_{R3} بمقدار 0.7 فولط . عند هذه النقطة يحصل تحديد للتيار كما كان الحال في المنظم السابق .

إذا أصبحت مقاومة الحمل أقل ، فإن فولطية الحمل ستقل مما يؤدي إلى انخفاض V_{R3} وبالتالي فإنه حسب المعادلة أعلاه ، تكون قيمة V_{RSC} المطلوبة لابقاء $V_{BE}= 0.7$ فولط أقل .

إذاً يجب أن يقل تيار الحمل كي تقل V_{R3} .

وكلما نقصت R_L تنخفض V_O ويقل I_L حتى نصل إلى النقطة التي يحدث فيها التحديد المطوي ، وعندما تعود R_L إلى قيمتها الاسمية فإن المنظم يعمل بشكل صحيح .

مثال (٨):

الدارة المبينة في الشكل (٢٣) تعطي فولطية منظمة مقدارها 6 فولط، إذا كانت $R_3 = 2K\Omega$ ، $R_4 = 9K\Omega$ ، ما قيمة R_{SC} بحيث يكون $I_{Lmax} = 1A$.

الحل :

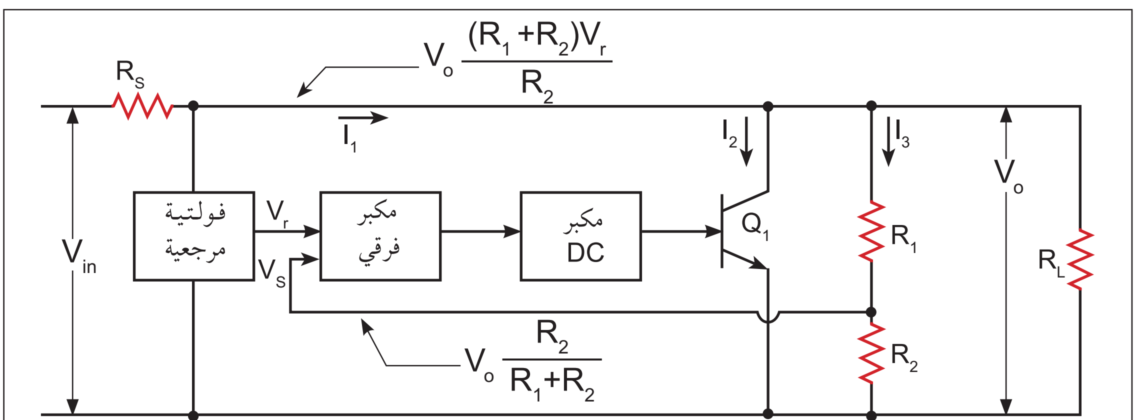
$$V_{R3} = V_O \frac{R3}{R_3+R_4} = \frac{2}{11} \times 6 = 0.6\ V$$

$$V_{BE} = 0.7 = V_{RSC} - 0.6 \quad , V_{RSC} = 1.3V$$

$$R_{SC} = \frac{V_{RSC}}{I_{Lmax}} = \frac{1.3}{1} = 1.3\Omega$$

(٣) المنظمات التفرعية Shunt Regulators

يبين الشكل (٢٤) المخطط الوظيفي لمنظم فولطية تفرعي.



شكل (٢٤): المخطط الوظيفي لدارة منظم تفرعي باستخدام الترانزيستور

كل عنصر من عناصره يعمل مثل العنصر المقابل له في المنظم التسلسلي. والفرق هو في عنصر التحكم الذي يكون موصولاً على التوازي مع الحمل، ويعمل على المحافظة على فولطية حمل ثابتة، وذلك عن طريق التحكم بتيار الحمل.

يقوم المنظم التفرعي بتحويل فولطية مباشرة ذات قيمة عالية إلى فولطية مباشرة أقل ذات قيمة ثابتة. يكون عنصر التحكم إما ترانزستوراً واحداً أو عدة ترانزستورات تعمل كمقاومة متغيرة. وعندما تقل فولطية الحمل فإن مقاومة عنصر التحكم تزداد، وبالتالي يزداد تيار وفولطية الحمل.

وعندما تزداد فولطية الحمل تقل مقاومة عنصر التحكم، ويقل في هذه الحالة تيار الحمل لأن جزءاً منه يمر في مقاومة عنصر التحكم.

مبدأ عمل الدارة:

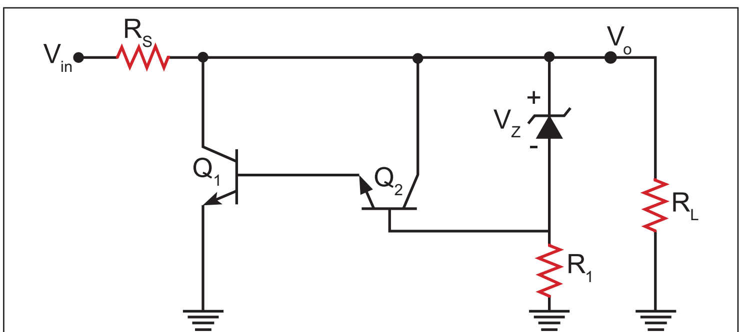
يتم أخذ عينة من فولطية المخرج تساوي

$$V_S = V_O \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

وتقارن مع الفولطية المرجعية . يتم تكبير إشارة خرج المقارن مع زيادة مستوى التيار المباشر وذلك لتغذية عنصر التحكم . عند حدوث زيادة أو نقصان في فولطية الخرج (الناتجة عن تغير الحمل) ينتج نقصان أو زيادة في مقاومة عنصر التحكم لإبقاء فولطية الخرج ثابتة . تقوم فولطية الخرج بتعديل نفسها كي تبقى قريبة من الفولطية المرجعية V_R .

والجدير بالذكر أن كفاءة المنظمات التفرعية أقل من التسلسلية ، ومع ذلك فإنه يستعمل في تطبيقات محددة ، إذ أنه أقل حساسية لتغيرات فولطية الدخل ، ولا يرجع تيار الحمل غير المستقر إلى عنصر التحكم ، إلا أنه يضمن الحماية في حالة حدوث قصر .

* يمثل الشكل (٢٥) دارة منظم تفرعي باستخدام ترانزستورات . يمثل الترانزستور Q_1 عنصر التحكم . بما أن الفولطية V_z ثابتة فإن التغيير يحصل في فولطية المقاومة R_1 . وبذلك تقل V_O وتقل أيضاً الفولطية للمقاومة R_1 وأيضاً تقل V_{BE} للترانزستور Q_2 .



شكل (٢٥) : دارة منظم تفرعي باستخدام ترانزيستور

وعليه يقل توصيله مما يؤدي إلى تقليل التيار في قاعدة الترانزستور Q_1 . عندما يقل تيار القاعدة للترانزستور Q_1 فإن معظم التيار يذهب إلى الحمل ، وبالتالي ترتفع فولطية الحمل . وبالعكس فإن زيادة V_O تؤدي إلى زيادة توصيل كل من Q_1 و Q_2 وعندها يقل تيار الحمل .

سؤال : هل تعمل هذه الدارة إذا تم تبديل R_1 وثنائي الزينر؟ وضح إجابتك .

المنظم التفرعي باستخدام مكبر العلميات.

يمثل الشكل (٢٦) دارة منظم فولطية تفرعي باستخدام مكبر العمليات . تشكل المقاومتان R_2,R_1 محزىء ، فولطية حيث يتم تغذية فولطية العينة إلى المدخل غير العاكس لمكبر العمليات . تكون هذه الفولطية

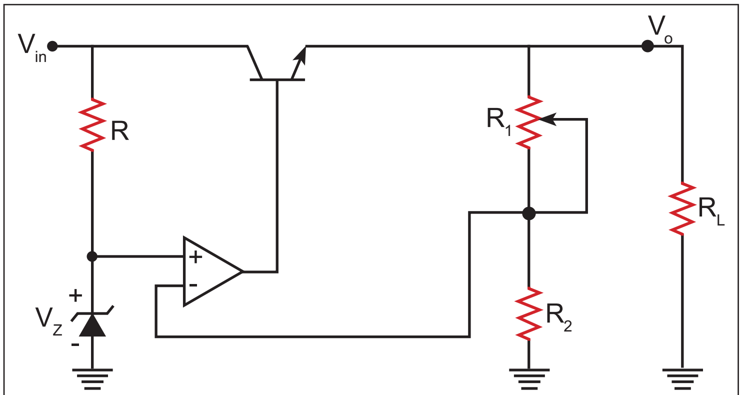
$$V_R = V_O \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

أكبر من V_Z (الفولطية المرجعية) كي يكون مخرج مكبر العمليات موجباً ويتناسب مع $V_O - V_Z$.

إذا قلت V_O فإن مخرج مكبر العمليات يقل، مما يجعل توصيل الترانزستور Q_1 يقل، وبالتالي فإن معظم التيار يمر في الحمل مما يؤدي إلى ارتفاع فولطية الحمل.

من مميزات هذا المنظم هو خاصية تحديد التيار. لاحظ أنه من الدارة فإن تيار الحمل لا يزيد عن $\frac{V_{IN}}{R_4}$ وهو التيار الذي يمر في المقاومة R_4 ولذلك فإن هذه المقاومة يجب أن تتحمل قدرة عالية.

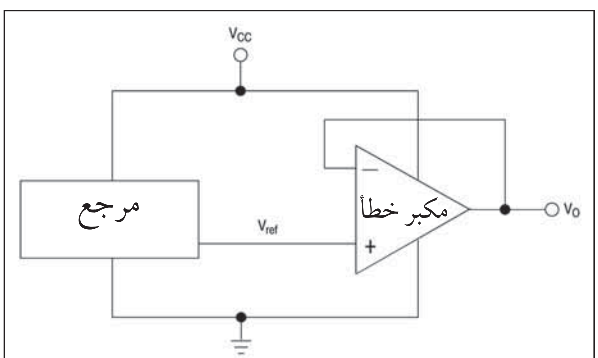
تكون المقاومة R_1 متغيرة وذلك من أجل ضبط فولطية الخرج.



شكل (٢٦): دارة منظم تفرعي باستخدام مكبر العمليات

(٤) منظمات الدائرة المتكاملة

يبين المخطط الصندوقي الوظيفي التالي المكونات الأساسية لمنظم فولطية باستخدام الدائرة المتكاملة. ويتكون من مرجع فرق جهد ثابت ومستقر (Vert) ومكبر خطأ ذي كسب عال. وتكون Vo مساوية لـvot وذلك يتحسس آية تغيرات في V_o ومحاولة إعادتها إلى قيمتها الأصلية.



شكل (١): المخطط الوظيفي لمنظم الدارة المتكاملة

هناك خمسة أنواع أساسية من المنظمات الخطية التي تستخدم الدوائر المتكاملة:

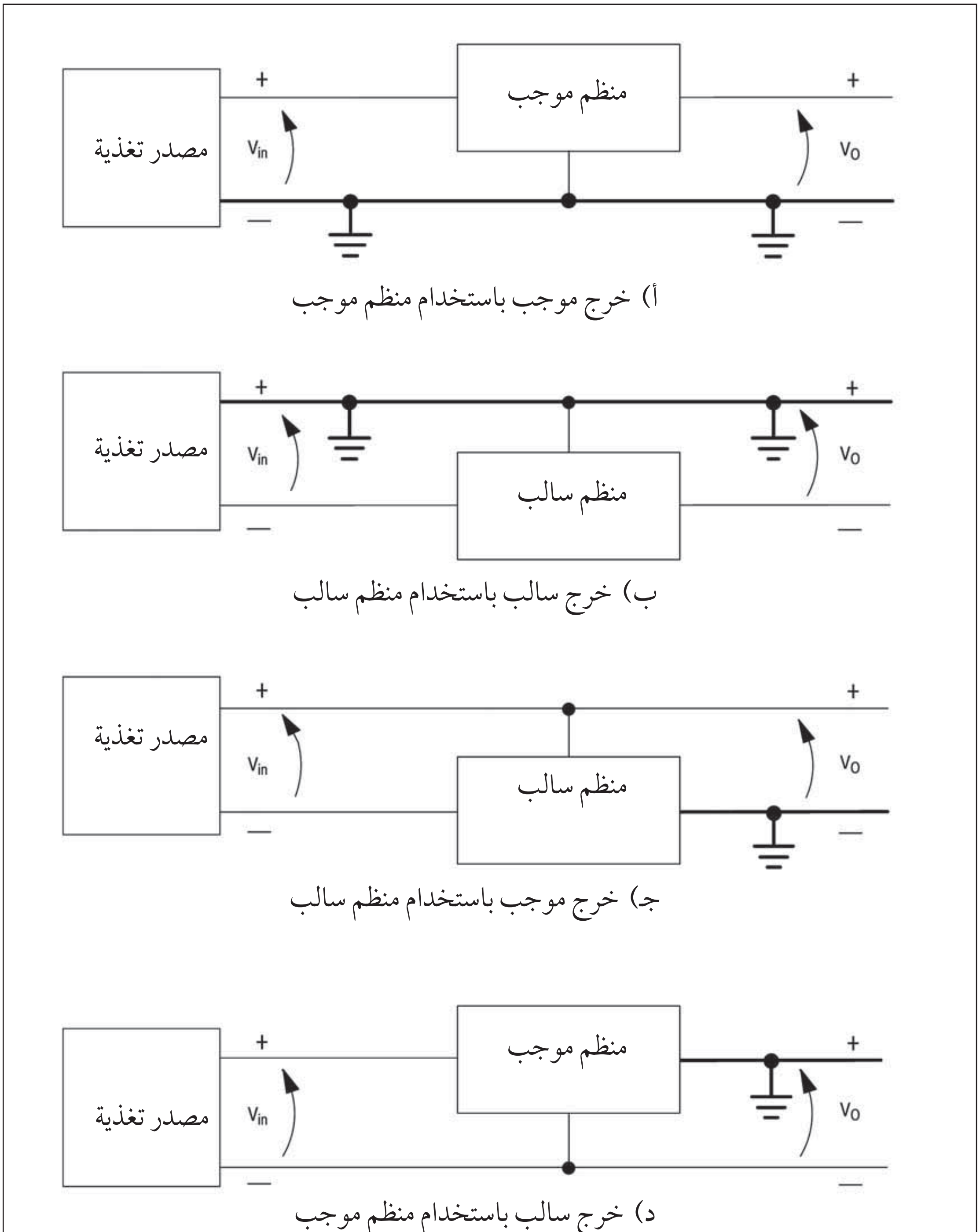
١) الموجبة ٢) السالبة ٣) ثابتة المخرج

٤) tracking المتعقبة ٥) floating عائم

لكل منها مزاياه واستخداماته، ويعتمد اختيار المنظم على حاجة المصمم وأداء المنظم والتكلفة، وسنتناول ذلك فيما بعد.

تستخدم المنظمات الموجبة لتنظيم فولطية دخل موجبة، كذلك يتم استخدام المنظمات السالبة لتنظيم فولطية دخل سالبة.

إلا أنه ممكن في بعض الحالات واعتماداً على نقطة التأريض يمكن استخدام المنظمات الموجبة لتنظيم فولطية سالبة والعكس صحيح أيضاً. وتوضح الأشكال التالية كيفية استخدام المنظمات الموجبة والسالبة.



شكل (٢) : طرق توصيل المنظمات

المنظمات ذات الثلاثة أطراف ثابتة المخرج توفر هذه المنظمات للمصمم طريقة سهلة ورخيصة للحصول مصدر تغذية منظم ومتوفر لقيم موجبة وسالبة ولعدة تيارات .

ومن ميزات هذه المنظمات هي :

١ سهولة الاستخدام .

٢ يوجد فيها نظام حماية ضد ارتفاع الحرارة أو زيادة التيار .

٣ لا يوجد حاجة إلى تعديل الدارات .

٤ رخيصة الثمن .

ومن مساوئها :

١ لا يمكن ضبط فولطية الخرج بشكل دقيق .

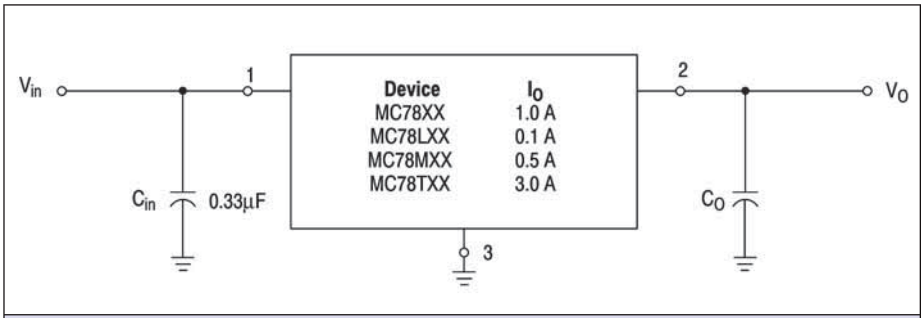
٢ متوفرة لعدد من فولطية الخرج وقيم التيار .

٣ الحصول على تيار أعلى في غاية الصعوبة بالمقارنة من أنواع أخرى من المنظمات .

أولاً: المنظمات الموجبة ثابتة القيمة.

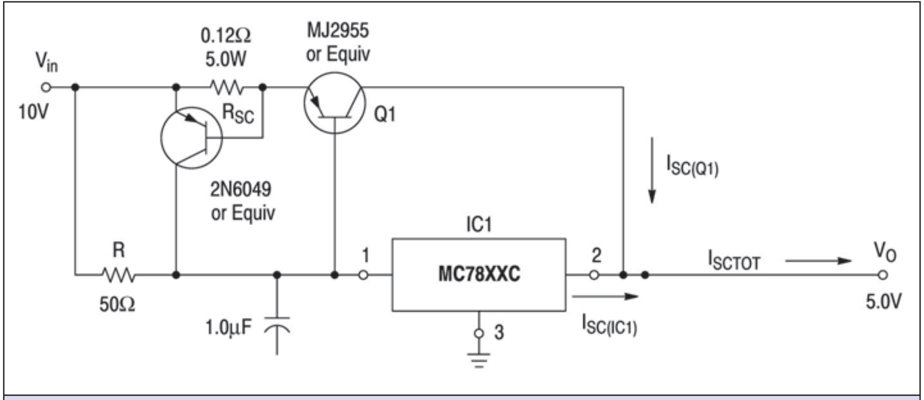
١ تنظيم الفولطية

يبين الشكل (٣) التركيبة الأساسية للمنظمات الموجبة ثابتة الفولطية ذات الثلاثة أطراف . وبالاعتماد على نوع المنظم المستخدم يمكن الحصول على تيارات لغاية 3A .



شكل (٣) :

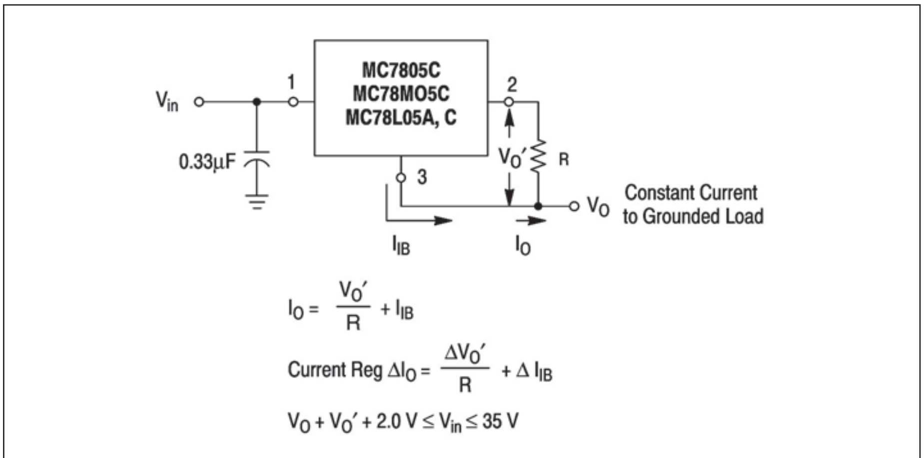
وللحصول على تيار أكبر يستخدم المنظم MC7800 كما في الشكل (٤) .



شكل (٤) :

٢ تنظيم التيار

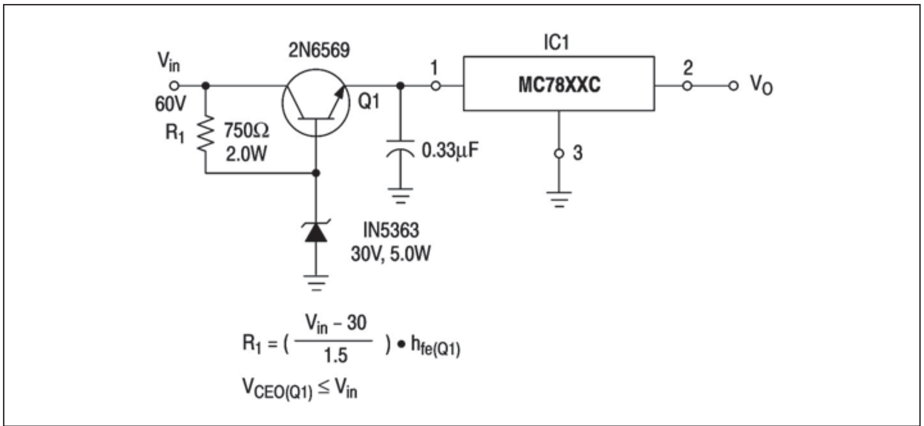
يمكن استخدام هذه المنظمات أيضاً في تنظيم التيار وذلك للحصول على تيار ثابت ويوضح الشكل (٥). المنظمات التي يمكن استخدامها.



شكل (٥):

٣ تنظيم فولطية دخل عالية.

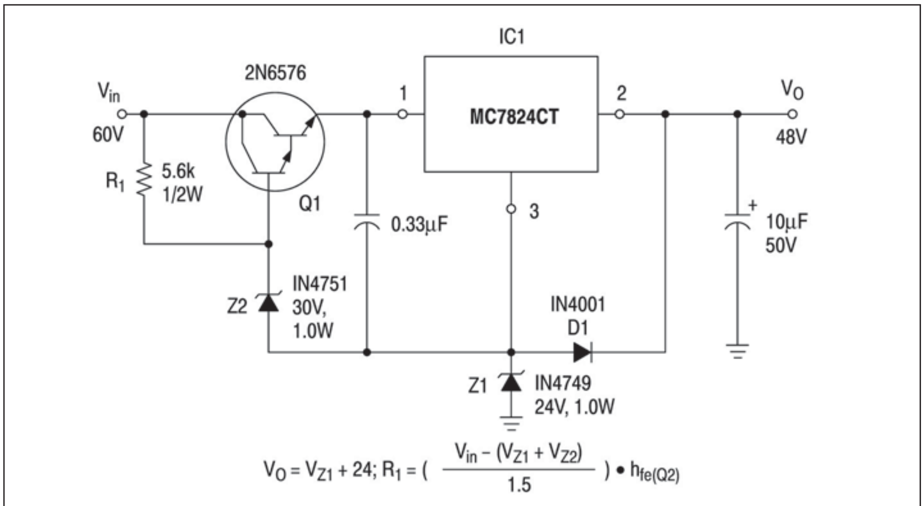
في بعض الأحيان تكون هناك ضرورة لتزويد المنظم بفولطية أعلى من الفولطية Vin العظمى. وفي هذه الحالة يتم استخدام دارة قبل المنظم كما في الشكل (٦).



شكل (٦):

٤ فولطية خرج عالية.

إذا كانت فولطية الخرج تزيد عن 24 فولط فالدارة التالية تستخدم لهذا الغرض الشكل (٧)يقوم ثنائي الزينر يتحديد قيمة فولطية الخرج بينما D_1 ، Z_2، Q_1 تضمن حماية MC 78 24C في حالة حدوث قصر بحيث لا تزيد الفولطية عن 30 فولطاً.

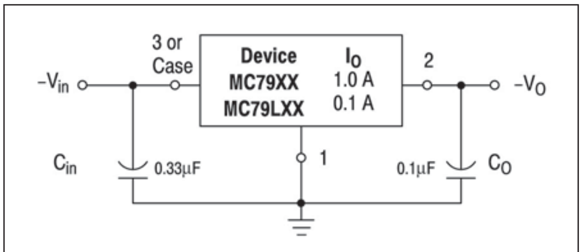


شكل (٧):

ثانياً: المنظمات السالبة ثابتة القيمة.

١ تنظيم الفولطية.

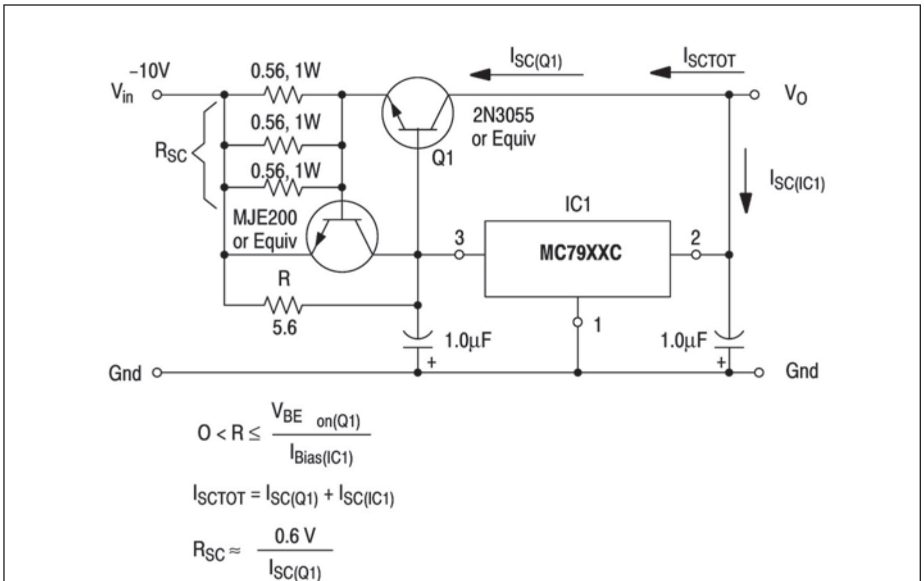
يبين الشكل (٨) الدارة الأساسية للمنظمات ذات الثلاثة أطراف السالبة ثابتة القيمة باستخدام المنظمات MC 79XX و MC 79LXX.



شكل (٨):

٢ تفرير تيار الخرج.

للحصول على تيار خرج أكبر في المنظمات السالبة يتم استخدام المنظم كما في الدارة (٩).

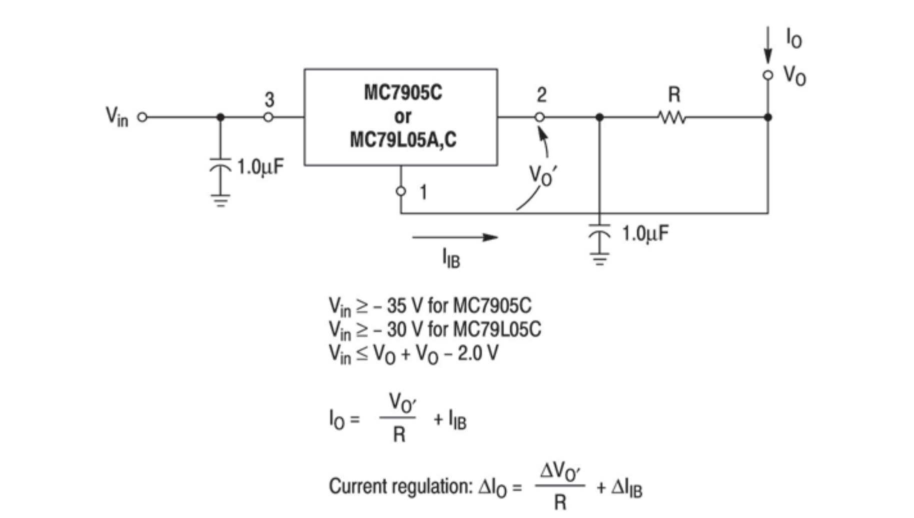


شكل (٩):

العنصر الذي يحدد مقدار التيار الذي يمكن للحمل أن يسحبه هو عنصر التحكم (الترانزستور Q1).

٣ تنظيم التيار .

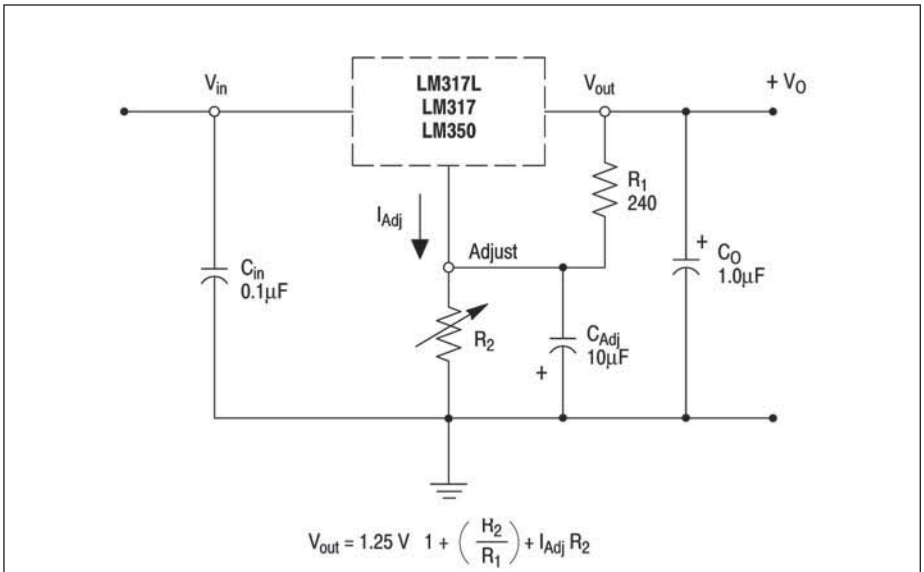
يمكن استخدام المنظمات السالبة ثابتة القيمة ذات الثلاثة أطراف لتزويد تيار ثابت كما في الدارة الشكل (١٠) ويتم استخدام منظمات من نوع MC 7905C و MC 79LOSAC .



شكل (١٠):

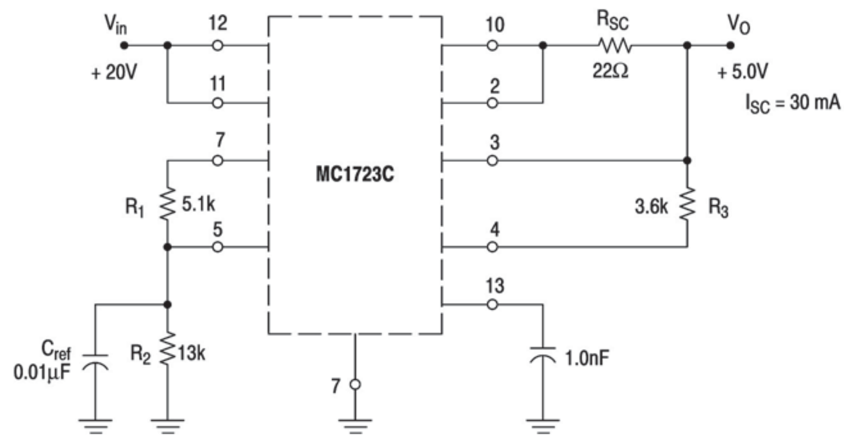
ثالثاً: المنظمات الموجبة متغيرة القيمة.

١ يمكن استخدام المنظمات من نوع LM317L،LM317 و LM350 حيث تعطي هذه المنظمات تيار خرج 100mA، 500mA ، 1.5، 3A على التوالي . وجميعها تركب كما في الدارة التالية، الشكل (١١) .



شكل (١١):

٢ المنظم MC17BC : يستخدم هذا المنظم للحصول على فولطية خرج ثابتة كما في الشكل (١٢).



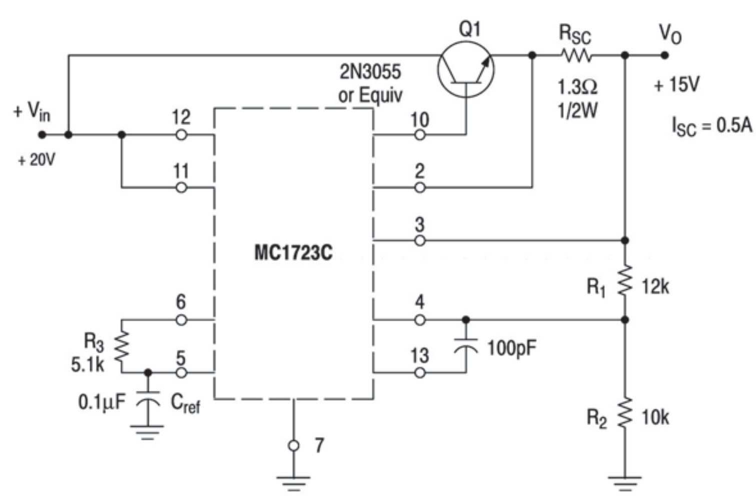
$$R_{SC} \simeq \frac{0.66V}{I_{SC}}\ ;\ 10\ k\Omega < R_1 + R_2 < 100\ k\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_O}{V_{ref}}(R_1 + R_2) \simeq \frac{V_O}{7.0\ V}(R_1 + R_2)$$

$$R_3 = R_1 \parallel R_2;\ 0 \le C_{ref} \le 0.1\ \mu F$$

شكل (١٢):

ولتغزيز تيار الخرج يتم إضافة ترانرستور كعنصر تحكم إلى الدارة الأساسية في الشكل (١٣) يتم استخدام ترانزستور NPN .



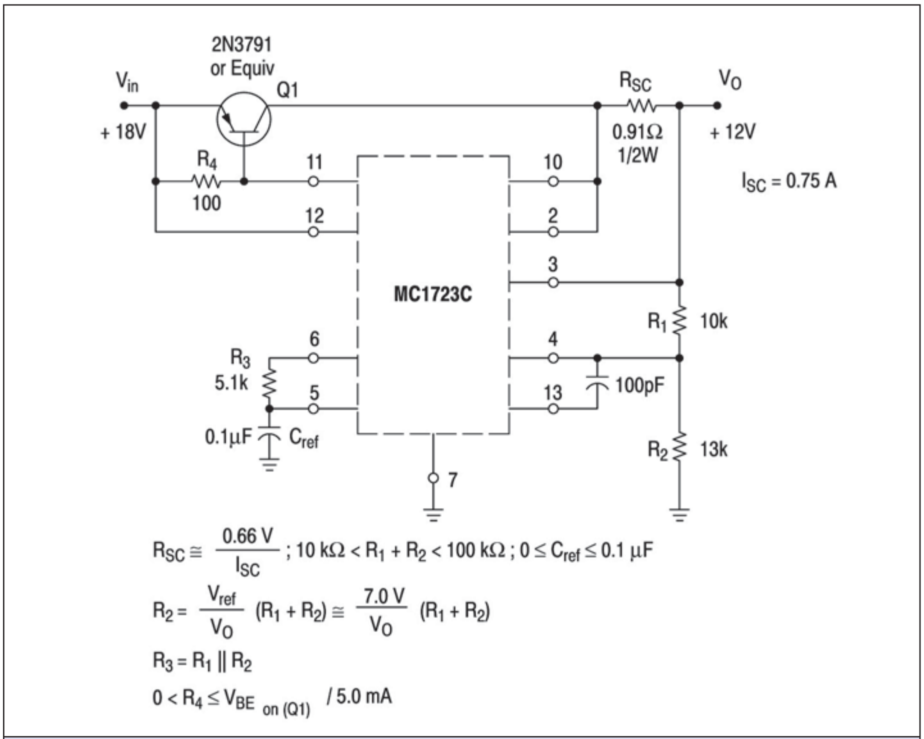
$$R_{SC} \cong \frac{0.66\ V}{I_{SC}}\ ;\ 10\ k\Omega < R_1 + R_2 < 100\ k\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{ref}}{V_O}(R_1 + R_2) \cong \frac{7.0\ V}{V_O}(R_1 + R_2)$$

$$0 \le C_{ref} \le 0.1\ \mu F\ ;\ R_3 \cong R_1 \parallel R_2$$

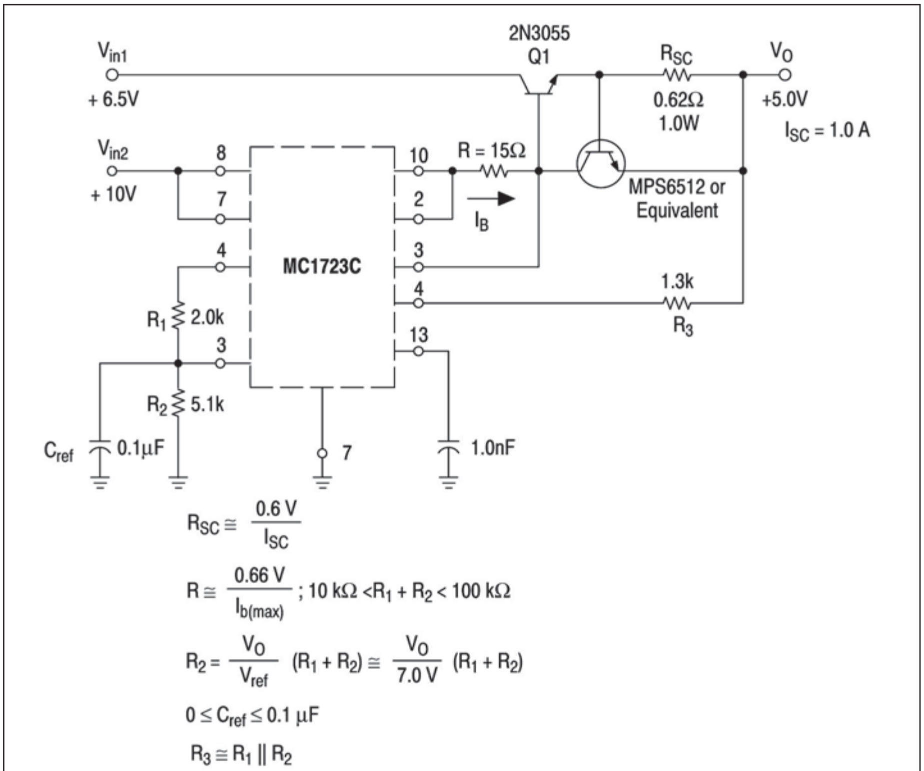
شكل (١٣):

بينما يستخدم الترانزستور PNP كما في الشكل (١٤).



شكل (١٤):

٣ منظم فولطية موجبة ذو كفاءة عالية.

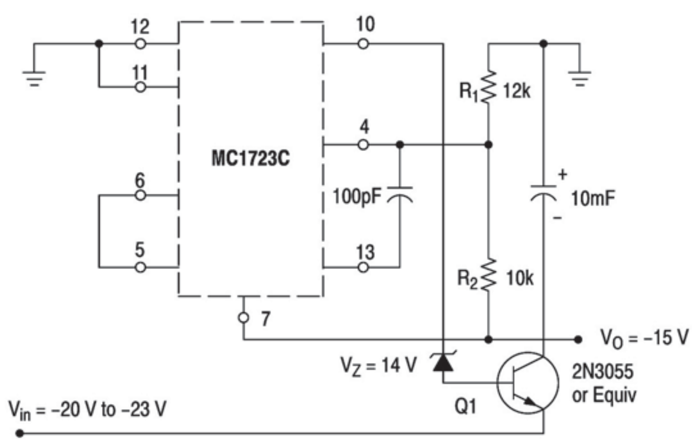


شكل (١٥):

عند الحاجة إلى تيار خرج عالٍ وفولطية أقل من 9 فولط يمكن استخدام المنظم MC1723C كما في الدارة التالية الشكل (١٥)، وذلك لزيادة كفاءة وفعالية المنظم، ويتم ذلك عن طريق تزويد عنصر التحكم (الترانزستور Q_1) فولطية دخل منفصلة عن فولطية دخل المنظم. وفي هذه الحالة هناك حاجة لحماية كل من الترانزستور والمنظم حالة حدوث قصر.

رابعاً: المنظمات السالبة متغيرة القيمة.

يمكن استخدام المنظم MC1723 للحصول على فولطية سالبة منظمة، وذلك باستخدام عنصر تحكم (الترانزستور) وثنائي زنير كما في الشكل (١٦)، وحتى تعمل هذه الدارة بشكل جيد يجب أن لا تتغير فولطية الدخل تغيراً كبيراً، ضمن مدى كبير، وذلك لأن قيمة V_Z المناسبة تعتمد بشكل كبير على V_{in}. كذلك فإن هذه الدارة لا تعمل في حالة حدوث قصر على مخرج المنظم.



$|V_O| \geq 10\ V;\ 10\ k\Omega \leq R_1 + R_2 \leq 100\ k\Omega$

$R_2 = \frac{V_{ref}}{|V_O|}(R_1 + R_2) \cong \frac{7.0\ V}{|V_O|}(R_1 + R_2)$

$V_Z \leq |V_{in}| - V_{BE(Q1)} - 3.0\ V;\ V_Z \geq |V_{in}| - |V_O| - V_{BE(Q1)} + 6.0\ V$

شكل (١٦):

أسس اختيار المنظم.

يمكن تحديد أسس اختيار المنظم بالنظر إلى العوامل التالية:

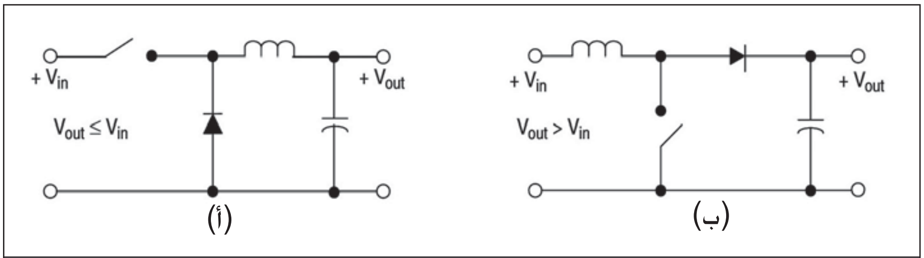
١. أقصى تيار للحمل.
٢. نوعية فولطية الدخل (بطارية أو من AC).
٣. مقدار الدقة في فولطية الخرج Tolerance.
٤. بعض الميزات الخاصة.

(٥) المنظمات المفتاحية:

تستخدم المنظمات المفتاحية في التطبيقات التي يكون فيها فرق كبير بين فولطية الدخل والخرج أو عند الحاجة إلى تيار حمل عالٍ . وتستعمل عند الحاجة إلى قدرة عالية وكذلك كفاءة عالية .

توجد المنظمات المفتاحية على شكلين أساسين هما :

١) **المنظم المفتاحي الخافض .**



شكل (١٧) :

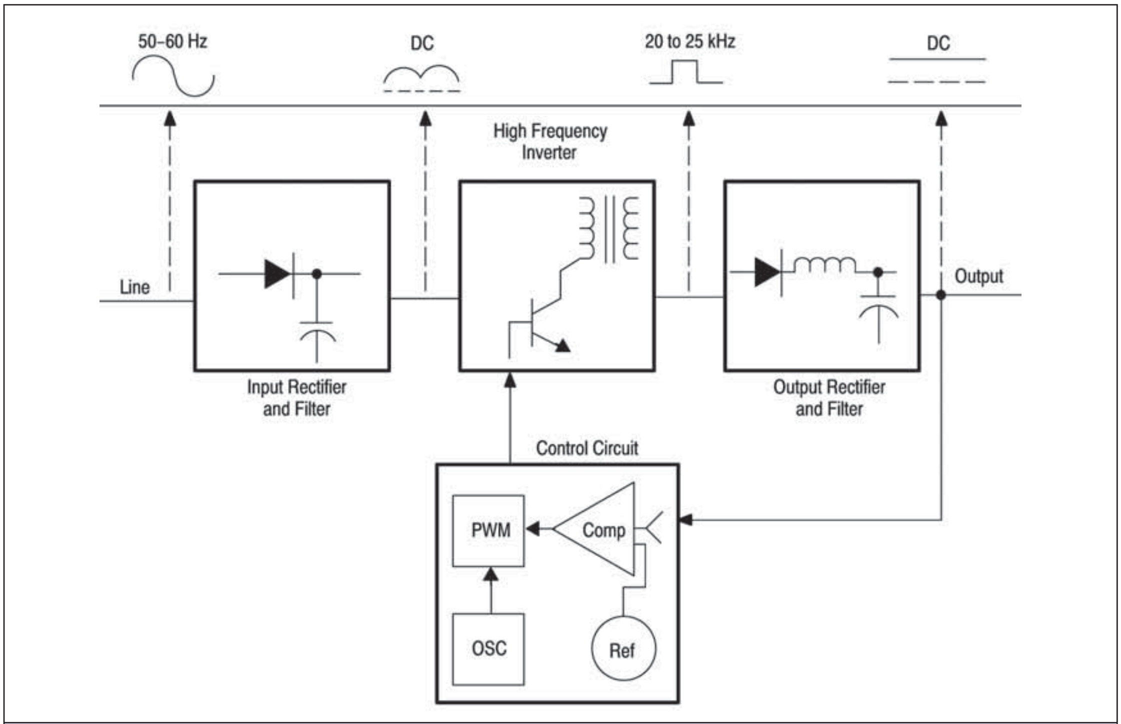
٢) **المنظم المفتاحي الرافع .** تتم عملية تقطيع الفولطية بالطرق التالية :

١ تغيير تردد المذبذب مع تثبيت زمن On time . ٢ تغيير تردد المذبذب مع تثبيت زمن Off time .

٣ تغير أزمان On time و Off time مع تيار التردد

المخطط الصندوقي للمنظم المفتاحي.

يمكن تمثيل المنظم المفتاحي بالمخطط الصندوقي التالي .



شكل (١٨) : المخطط الصندوقي الوظيفي للمنظم المفتاحي

ولتوضيح آلية عمل المنظم المفتاحي يمكن الاستعانة بالمخطط الوظيفي التالي شكل (١٨).

يتكون الجزء الأساسي منه من عاكس للقدرة عالي التردد حيث يتم تقطيع الفولطية المباشرة باستخدام تردد من 20KHz إلى 200KHz. ويتم في هذا الجزء أيضاً تحديد مستوى الفولطية المطلوبة والتي تستعمل لتغذية الدارات الألكترونية.

يتم تقويم التيار المتردد 50 Hz وتصفية في الصندوق الأول، ويقوم العاكس بتخفيض هذه الفولطية إلى المستوى المطلوب. يتم تنظيم فولطية الخرج بواسطة دارة التحكم التي تقوم بفتح وإغلاق العاكس عن طريق توليد نبضات ذات تردد ثابت، وعرضها يتغير بناءً على فولطية الخرج (تحدد فولطية الخرج مقدار On time للموجة المربعة).

إذا تم إزالة الحمل أو ارتفعت فولطية الدخل، فسترتفع قيمة فولطية الخرج مما يجعل دارة التحكم تولد نبضات لها زمن on-time أقل تغذى إلى العاكس. وعلى العكس عندما يزيد الحمل أو تقل فولطية الدخل فإن دارة التحكم نبضات لها زمن on-time أعلى تغذي بها العاكس.

المنظم الخطي مقارنة بالمفتاحي.

يتم تنظيم الفولطية بأسلوبين مختلفين تماماً، فالمنظمات الخطية تعمل بآلية مختلفة تماماً عن المنظمات المفتاحية. ولكل أسلوب مزاياه وعيوبه، ويتم تحديد نوع المنظم خطي أو مفتاحي حسب التطبيق.

المنظمات الخطية تكون فقط في التطبيقات الخافضة للفولطية ويتم هذا بتشغيل ترانزستور BJT أو MOS-FET في المنطقة الخطية وهذا الترانزستور هو عنصر التحكم في المنظم. وهناك هبوط في الفولطية بين المدخل والمخرج بسبب ضياع في القدرة في الترانزستور. وهذا الضياع في القدرة يجعل المنظم الخطي فعالاً بنسبة 35% إلى 65%.

كذلك فإن تكلفة المبدد الحراري، وحجمه يجعل المنظم الخطي غير مناسب من الناحية العملية في الحالات التي تكون فيها القدرة المطلوبة أكبر من 15 واط. ودون هذه القدرة يمكن اعتبار المنظمات الخطية فعالة.

من ناحية أخرى يعتبر تصميم المنظم الخطي بسيطاً ورخيصاً، وبحاجة إلى مجموعة قليلة من العناصر الأخرى مع المنظم.

وفيما يتعلق بالضجيج فإن المنظم الخطي يعتبر بدون ضجيج لأنه لا يوجد به دارات تقطيع، وهي التي تسبب هذا التشويش.

تعمل المنظمات المفتاحية عن طريق فتح وإغلاق عنصر التحكم من حالتين هما حالة القطع (Cut off) حيث يكون هناك فولطية عالية على الترانزستور ولا يمر به تيار وحالة الإشباع (Saturation) حيث يمر تيار عالٍ من خلال عنصر التحكم، وتكون الفولطية على طرفي عنصر التحكم في هذه الحالة قريبة من الصفر.

تعمل المنظمات المفتاحية من حيث المبدأ على توليد تيار متناوب عن طريق تقطيع التيار المباشر.

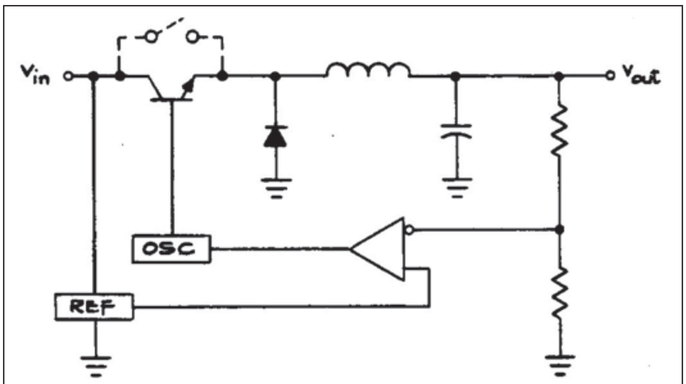
ومن ثم يتم رفع أو خفض الفولطية عن طريق محول، وبعد ذلك تتم عملية تحويلها إلى تيار مباشر وتنعيمها.

وتعتبر المنظمات المفتاحية أكثر فعالية من المنظمات الخطية، إذ تبلغ فعاليتها ما بين 65% إلى 95%، وتعتبر المنظمات المفتاحية أكثر تعقيداً من ناحية التصميم وبحاجة إلى إزالة التشويش الذي ينتج عن عملية التقطيع.

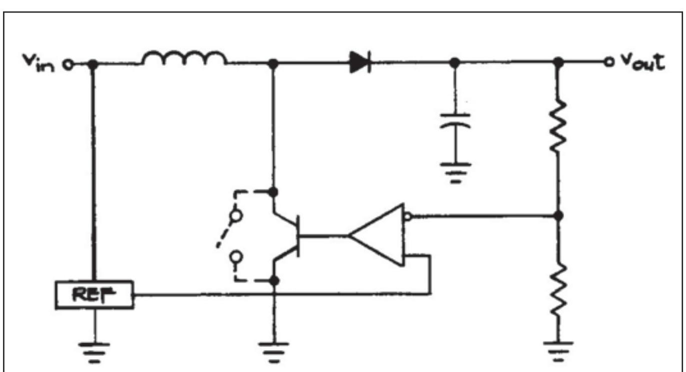
ومن الناحية العملية يتم الدمج بين الأسلوبين في كثير من مصادر التغذية. فمثلاً يمكن استخدام منظم مفتاحي كمرحلة أولى ثم يتم استخدام منظم خطي في المرحلة التالية.

المنظمات المفتاحية الخافضة للفولطية.

يمثل الشكلان (١٩، ٢٠). دارة منظم مفتاحي خافض للفولطية. يتم فتح وإغلاق الترانزستور بشكل دوري بين المدخل والمخرج.



شكل (١٩):



شكل (٢٠):

كما أن فولطية القاعدة –الباعث VCE عندما يكون الترانزستور في حالة الإشباع (مغلق عادة) صغيرة جداً بالمقارنة مع فولطية الخرج فسنعتبرها صفراً (VCE=0). وبالتالي فإن فولطية الخرج ستتغير بشكل دوري بين صفر ومقدار V_{in}. وتكون القيمة المتوسطة لها هي V_o-V_{in}(T_{on}/t)

حيث T_{on} هي المدة التي يكون فيها الترانزستور في حالة on و T هو زمن التقطيع. ويقوم المرشح C_1 4 بتقليل هذا الضجيج إلى حد مقبول.

تسمى النسبة T_{on}/t بـ Duty Cycle.

وعليه فإن أي مخرج أقل من V_{in} يمكن الحصول عليه.

تعتبر الكفاءة في هذه الحالة عالية، لأن الخسارة تكون فقط عندما يكون الترانزستور في حالة on. وتكون هذه الخسارة قليلة لأن VCE صغير جداً.

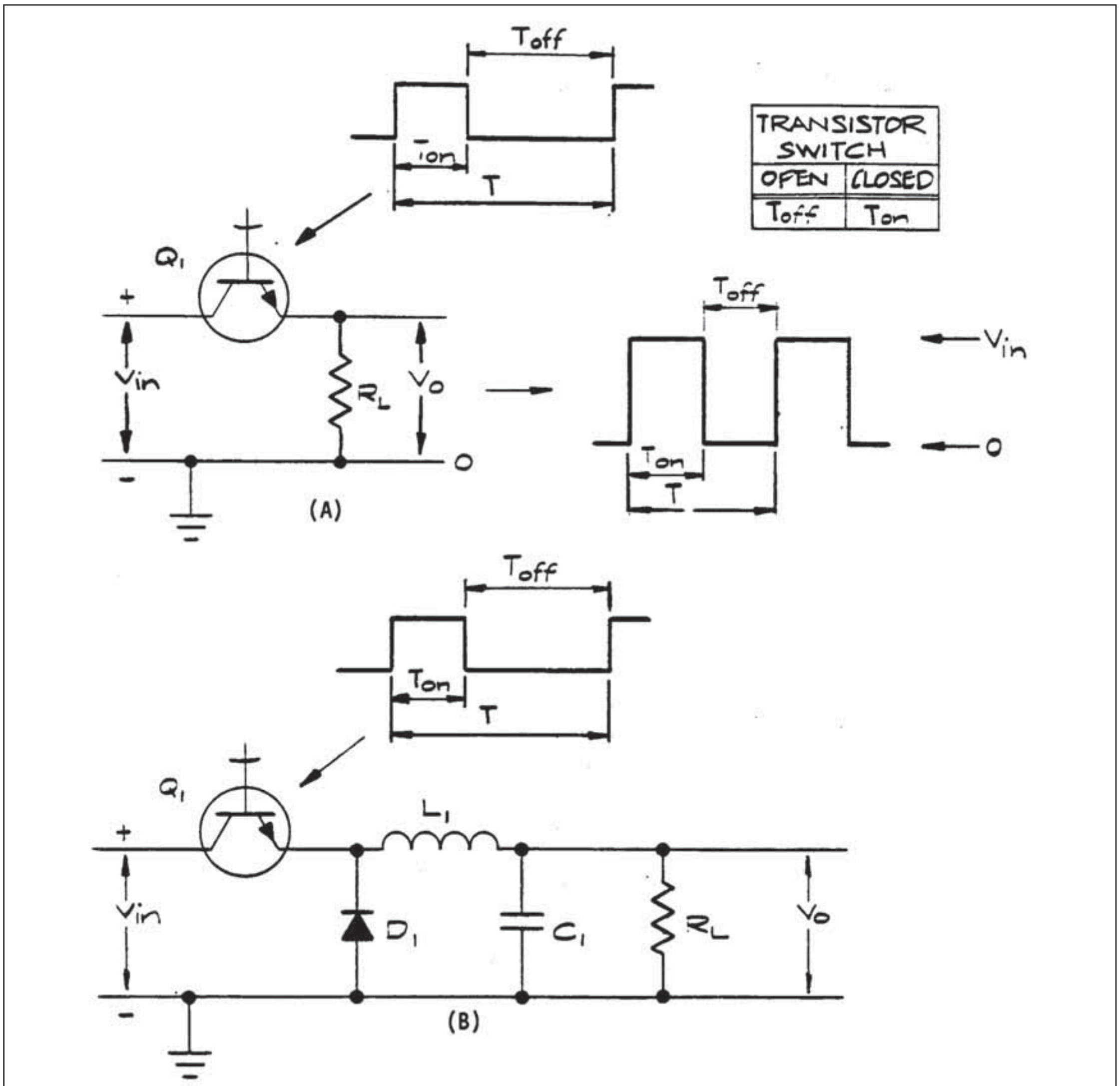
وعندما يكون الترانزستور في حالة OFF فلا يوجد تبديد للقدرة، لأنه لا يمر تيار فيه.

عندما يكون الترانزستور في حالة قطع off، فإن طرف L_1 يصبح سالباً لأن التيار لا يتغير بشكل آتي في الملف. وبالتالي فإن الثنائي D_1 يبدأ بالتوصيل. وتيار الحمل في هذه الحالة هو عبارة عن مجموعة تياري Q_1 وL_1.

إذا كانت L_1 كبيرة إلى حد كاف، فإن تغير التيار فيه سيكون قليلاً بين حالتي on و off للترانزستور. ويمكن اعتبار قيمته تساوي V_O/R_L.

عندما يصبح الترانزستور ON فإن D_1 يصبح في حالة انحياز عكسي ويتوقف عن التوصيل . ويكون تيار الحمل في هذه الحالة من المصدر خلال الترانزستور .

ويكون المنظم الخافض كما في الشكل التالي . ودارته المكافئة .



شكل (٢١) :

تقوم دارة التغذية الراجعة بتغير عرض النبضة للحفاظ على خرج ثابت . يتم التعويض عن أية تغيرات في الحمل أو فولطية الدخل Duly cycle للترانرستور دون زيادة القدرة الضائعة في الترانزستور .

في المنظمات يكون عادة تردد التقطيع يساوي khz 20 .

مع أنه من الممكن أن تكون بين 3 - 100 كيلو هيرتز .

وعند استخدام ترددات عالية يصبح حجم المكونات للمنظم صغيراً ، مما يؤدي تصغير الحجم وتقليل الوزن لنفس قدرة الخرج . وكلها تؤدي إلى تقليل الكفاءة .

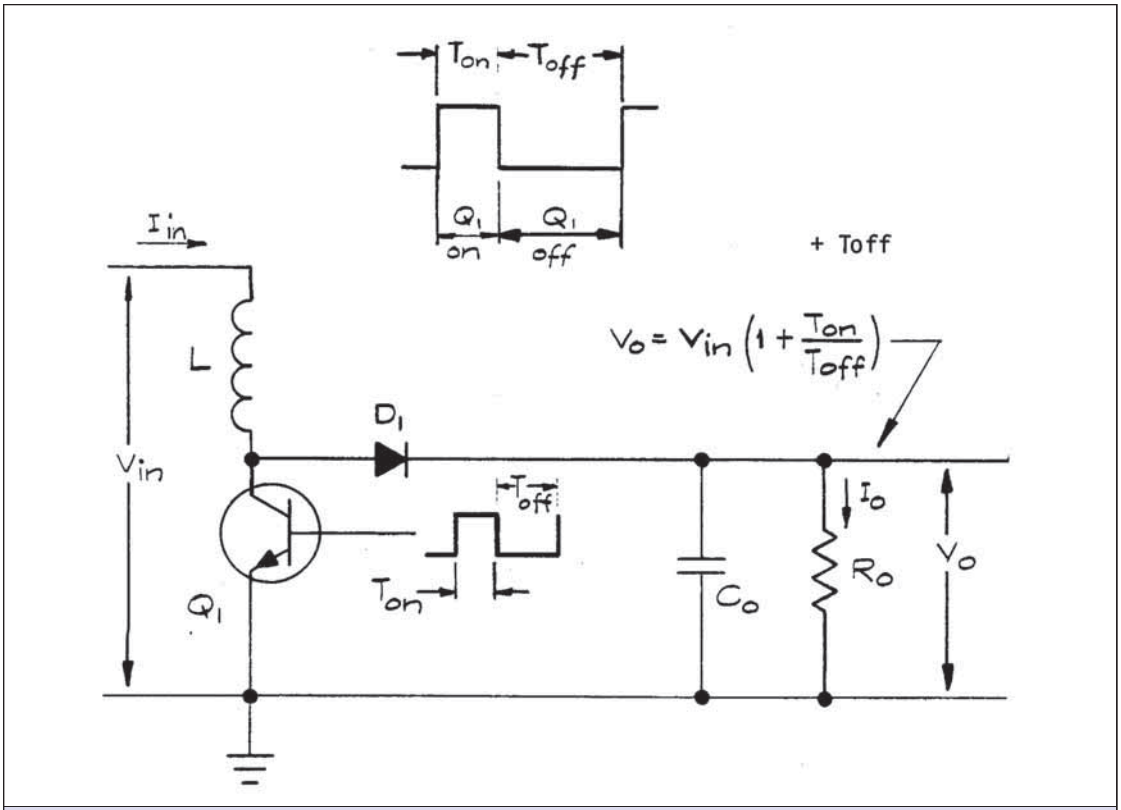
المنظمات المفتاحية الرافعة للقدرة.

تستخدم هذه المنظمات لإنتاج فولطية خرج أكبر من فولطية الدخل .

يمثل الشكل (٢٢) دارة منظم مفتاحي رافع للفولطية . يتم فتح وإغلاق الترانزستور Q_1 لفترات ToHوTon .

تكون قيمة V_o .

$$V_o= V_{in} \quad T/1\text{-}Ton$$



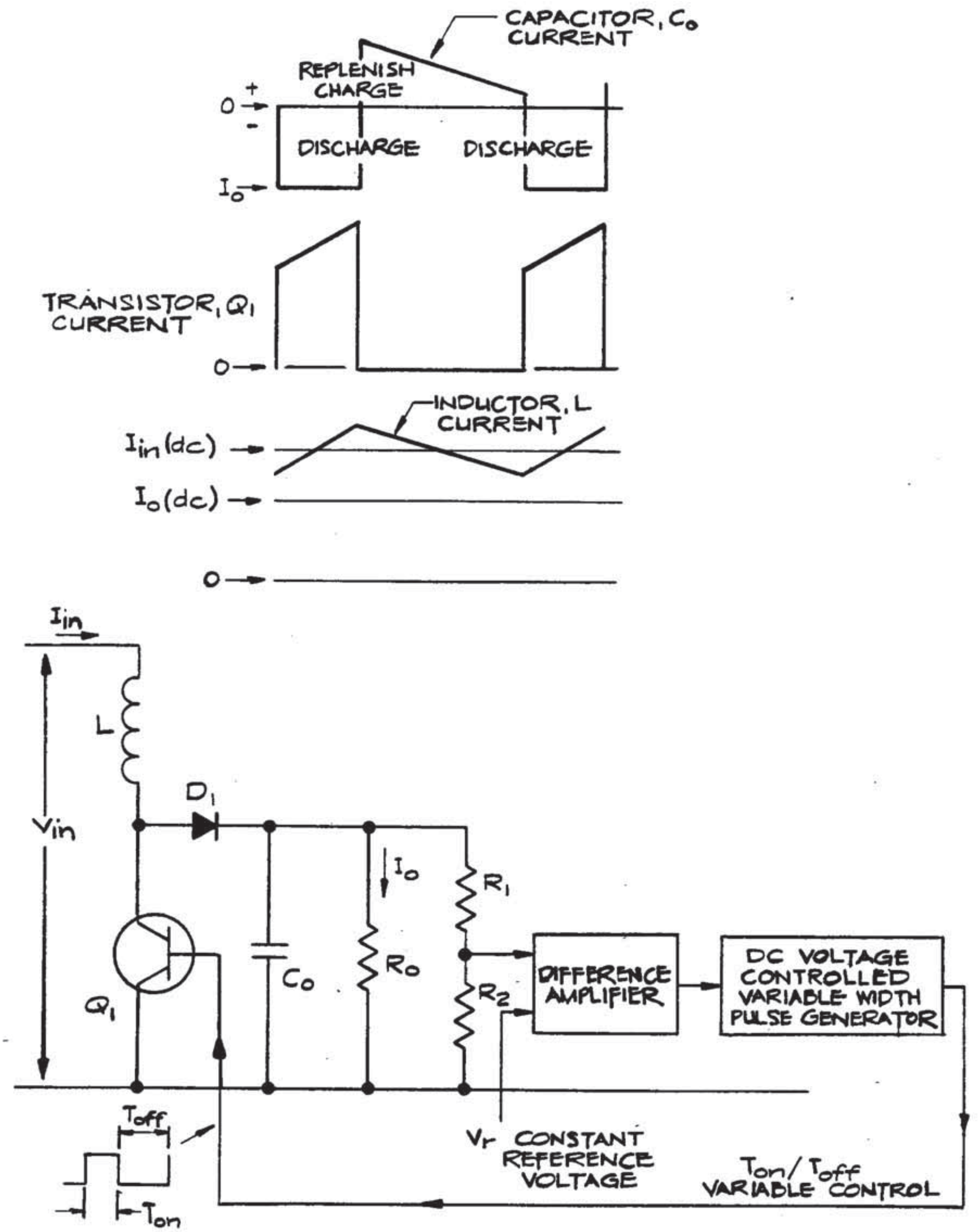
شكل (٢٢):

عندما يكون الترانزستور Q1 في وضع ON، تخزن الطاقة في L ويكون D1 في انحياز عكسي، ويزود المكثف تيار الحمل من الطاقة المخزنة فيه (CO VO2 1/2).

عندما يكون الترانزستور Q_1 في وضع OFF، تتولد فولطية حديثة vin- vo في الملف مما يجعل الترنزستور من جهة الملف L موجباً وبالتالي يصبح الثنائي D_1 منخازاً انحيازاً أمامياً وينقل التيار من الملف و Q_1 إلى Co و R_o .

تحدد Ton/t مقدار اتساع الفولطية الحيثة وبزيادة Ton تزداد قيمة الطاقة المخزنة في L .

ويمثل الشكل (٢٣) الدارة الكاملة للمنظم مع الدارة المكافئة والرسومات .



شكل (٢٣) :

أسئلة الوحدة:

أولاً: إختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي :

١ في حالة تنظيم الخط :

أ-عند تغير درجة الحرارة، تبقى فولطية الخرج ثابتة .

ب- عند تغير فولطية الخرج، يبقى تيار الحمل ثابتاً .

جـ- عندما تتغير فولطية الدخل، تبقى فولطية الخرج ثابتة .

د- عند تغير الحمل، تبقى فولطية الخرج ثابتة .

٢ في حالة تنظيم الحمل :

أ- عند تغير درجة الحرارة، تبقى فولطية الخرج ثابتة .

ب- عند تغير فولطية الدخل، يبقى تيار الحمل ثابتاً .

جـ-عند تغير الحمل، يبقى تيار الحمل ثابتاً .

د- عند تغير الحمل، تبقى فولطية الخرج ثابتة .

٣ تعتبر جميع المكونات التالية جزءاً من المنظم ما عدا :

أ- عنصر التحكم　　ب- دارة العينة　　جـ- تابع الفولطية

د- كاشف الخطأ　　هـ- فولطية المرجعية .

٤ الفرق الأساسي بين المنظم التوالي ومنظم التفرع هو :

أ- كمية التيار التي يستطيع المنظم تحملها .　　ب- موقع عنصر التحكم في الدارة .

جـ- نوع دارة العينة .　　د- نوع كاشف الخطأ .

٥ الهدف الرئيسي من دارة محدد التيار في المنظم هو :

أ- حماية المنظم من التيار الزائد .　　ب- حماية الحمل من التيار الزائد .

جـ- حماية المحول من الاحتراق .　　د- للحفاظ على فولطية خرج ثابتة .

٦ في المنظم الخطي يكون ترانزستورالتحكم في حالة توصيل :

أ- في جزء صغير من الوقت　　ب- نصف الوقت

جـ- كل الوقت　　د- فقط عند زيادة تيار الحمل .

٧ في المنظم المفتاحي، يكون عنصر التحكم (الترانزستور) في حالة توصيل :

أ- جزءاً من الوقت　　ب- كل الوقت

جـ- فقط عند زيادة قيمة فولطية الدخل عن حد معين　　د- فقط عند زياد الحمل .

٨ في المنظم البسيطة العنصر الذي يحدد Vout فولطية الخرج هو :

أ- عنصر التحكم　　ب- دارة العينة

جـ-فولطية المرجعية　　د- ب وجـ معاً .

٩ الدارة المتكاملة LM317 هي :

أ- منظم فولطية سالبة .
ب- منظم فولطية موجبة ثابتة القيمة .
جـ- منظم مفتاحي .
د- منظم فولطية موجبة متغيرة .
و- ب ، د .
ز- دو هـ .

١٠ يستخدم ترانزستور التمرير الخارجي .

أ- لزيادة فولطية الخرج .
ب- لتحسين التنظيم .
جـ-زيادة التيار الذي يزوده المنظم .
د- للحماية من دارة القصر .

ثانياً :

١ إذا كانت القيمة الأسمية لفولطية الخرج لمنظم ما هي ٨فولط . وتغيرت فولطية الخرج بمقدار 2mV عند تغير فولطية الدخل من 12 فولطاً إلى 18 فولطاً جد :

أ) تنظم الخط كنسبة مئوية لكل مدى فولطية الدخل .

ب) عبر عن تنظيم الخط باستخدام 17%.

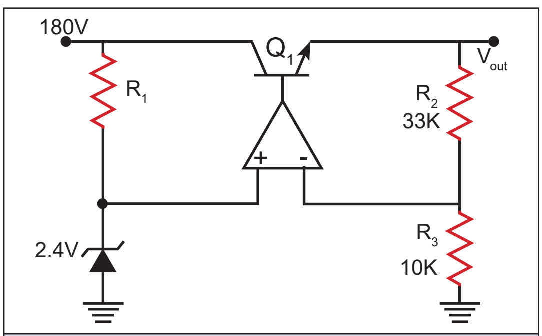
٢ إذا كانت فولطية اللاحمل لمنظم ما هي 10 فولط ، وكانت فولطية الحمل الكامل هي 9.9 فولط .

جد :

أ) نسبة التنظيم في هذا المنظم .

ب) إذا كان تيار الحمل الكامل هو 250 mA .
جد نسبة تنظيم التيار .

٣ جد فولطية الخرج للمنظم المبين في الدارة التالية .



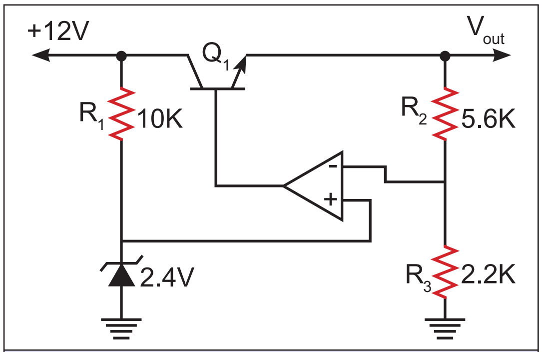
دارة (س٣)

٤ تأمل الدارة التالية ، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها .

أ) احسب مقدار فولطية الخرج .

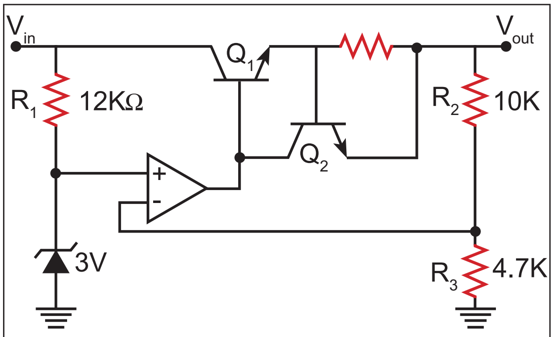
ب) إذا كانت R3=4.7 كيلو أوم ، فإذا يحدث لفولطية الخرج .

جـ) إذا كانت فولطية زيز تساوي 2.7 فولط ، فماذا يحدث لفولطية الخرج؟



دارة (س٤)

٥ يبين الشكل التالي دارة منظم فولطية توالٍ باستخدام محدد تيار .



دارة (س٥)

جد :

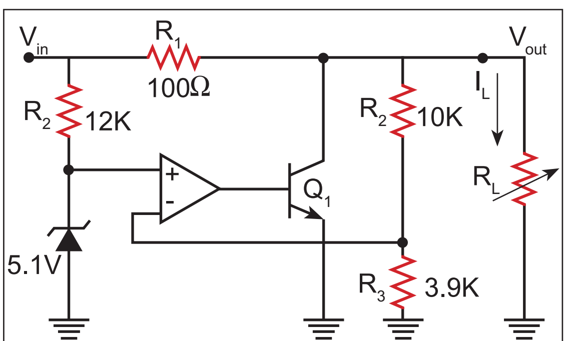
أ) قيمة R_4 إذا كانت قيمة تيار الحمل القصى هو mA250 .

ب) ما قيمة القدرة التي تتحملها R_4؟

ج) إذا تم تقليل قيمة R_4 إلى النصف، جد قيمة تيار الحمل القصوى .

٦ يبين الشكل التالي دارة منظم كفرعي، بعد دراسة الشكل أجب عن الأسئلة التالية .

أ) عند زيادة تيار الحمل، هل يزيد تيار الترانزستور Q_1؟ لماذا؟



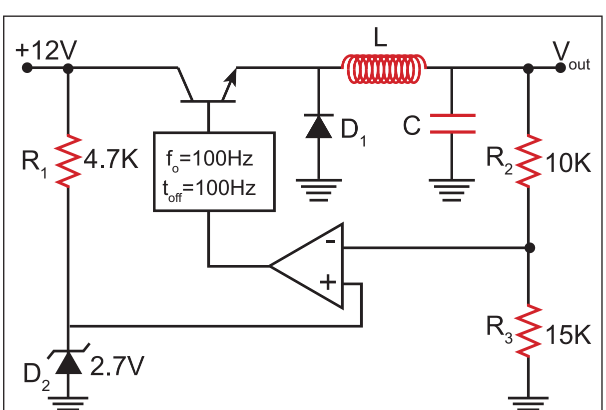
دارة (س٦)

ب) إذا افترضنا أن ILيبقى ثابتاً وأن VIN تتغير بمقدار ١فولط، ما مقدار التغير في تيار المجمع للترانزسور Q_1؟

ج) إذا ثبتت فولطية الدخل على 17 فولط، وتم تغيير قيمة مقاومة الحمل من ١كيلو أو إلى 1.2 كيلو أوم في تيار المجمع للترانزستور Q_1؟

د) إذا كانت أقصى قيمة لفولطية الدخل هي 25 فولطاً، ما أقصى تيار خرج ممكن لهذا المنظم في حالة حدوث قصر على المخرج؟ ما قدرة المقاومة R_1 كي لا تحترق؟

٧ تمثل الدارة التالية دارة منظم مفتاحي، جد :



دارة (س٧)

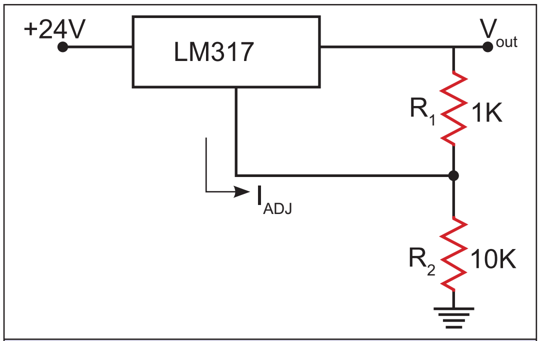
أ) مقدار فولطية الخرج إذا كان تردد التقطيع يساوي 100 هيرتزاً، ومقدار وقت الاغلاق هو 6 ميلي ثانية .

ب) مقدار dutu cycle للترانزستور .

٨ حدد قيمة فولطية الخرج للمنظمات الآتية :

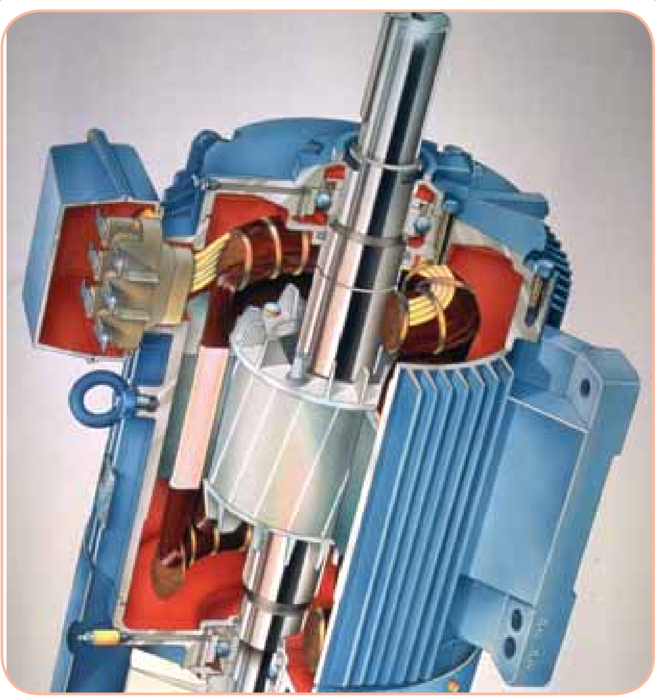
أ- 7806 ب- 7905 جـ- 7818 د- 7924 .

٩ جد مقدار خرج المنظم المبين في الدارة التالية، إذا كان تيار IADJ=50mA.



دارة (س٩)

الوحدة
٤
المحركات الكهربائية



الوحدة ٤

المحركات الكهربائية

تلعب المحركات دورا كبيرا في حياتنا المعاصرة . فلم يعد يقتصر وجود المحركات على المصانع والمشاغل، وإنما امتد ليشمل جميع مناحي الحياة . فالمحركات بأنواعها المختلفة هي التي تقوم بإدارة الآلات في المصانع، والأدوات المنزلية في البيوت، والأجهزة المكتبية من مشغلات الأقراص في الحاسوب إلى الطابعات وغيرها . ونتيجة التطور في علوم التحكم والالكترونيات اتسع مجال التطبيقات للمحركات، وتم كذلك اختراع محركات جديدة لتلائم التطبيقات المتجددة في حياتنا المعاصرة .

إن التحكم بالمحركات يقع ضمن أهم التطبيقات للالكترونيات، ولذلك فلا بد لدارس الالكترونيات الصناعية من التعرف على المحركات والإلمام بخصائصها . وتهدف هذه الوحدة إلى تعريف الطالب بالمحركات المستخدمة في البيئة الصناعية والتحكم، وهي محركات التيار المستمر بأنواعها المختلفة، المحركات الحثية أحادية الوجه وثلاثية الأوجه، المحرك العام، محرك التيار المستمر بموحد الكتروني ومحرك الخطوة . وفي كل نوع من الأنواع المذكورة تم شرح التركيب الأساسي ومبدأ العمل، والأنواع المختلفة وتوصيلاتها وخصائصها التشغيلية بالإضافة إلى عكس الدوران وطرق البدء .

(١) محركات التيار المتناوب (AC Motors)

تقسم محركات التيار المتناوب من حيث عدد الأطوار إلى :

١ محركات أحادية الطور　　٢ محركات ثلاثية الأطوار .

ويمكن تقسيم محركات التيار المتناوب حسب التركيب ومبدأ العمل إلى الأنواع الرئيسية التالية :

١ المحركات الحثية وتقسم إلى :

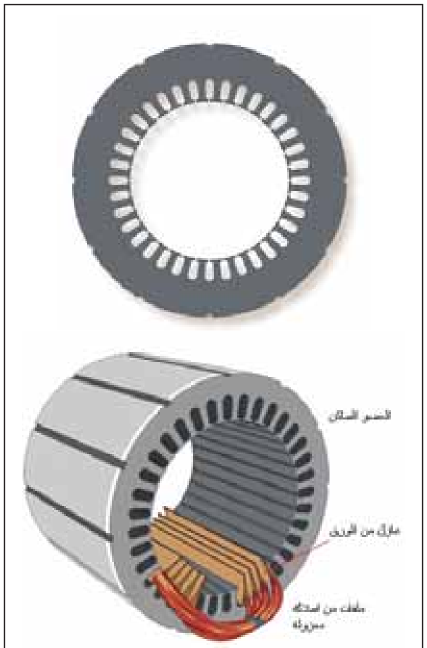
أ- المحركات الحثيه ذات العضو الدائر من نوع القفص السنجابي .

ب- المحركات الحثيه ذات العضو الدائر الملفوف .

٢ المحركات التوافقية : وهي محركات تدور بسرعة ثابتة تعتمد على تركيبها وتردد المصدر .

تتكون محركات التيار المتناوب من جزأين رئيسيين هما :

١ الجزء الساكن(Stator) : ويتكون العضو الساكن من رقائق (صفائح) متراصة من الحديد المغناطيسي المعزولة عن بعضها (لتقليل التيارات الإعصارية) بحيث تكون جسما



شكل (١)

اسطوانيا محفور بداخله عدد من المجاري وذلك لتركيب الملفات داخلها شكل (١) . ويحتوي الجزء الساكن على ملفات يعتمد عددها وطريقة لفها وتوصيلها مع المصدر على نوع المحرك ونوع مصدر التغذية (أحادي الطور أو ثلاثي الأطوار) . وتقوم هذه الملفات بتوليد مجال مغناطيسي دوار يؤدي إلى دوران العضو الدائر عند توصيل هذه الملفات مع مصدر التغذية .

٢ الجزء (العضو) الدائر (Rotor) : وهو الجزء الذي يقوم بتدوير الحمل . ويختلف تركيب هذا العضو حسب نوع المحرك .

المحركات الحثية ذات العضو الدائر من نوع القفص السنجابي ثلاثية الأوجه :

يعد المحرك الحثي أكثر أنواع المحركات انتشارا . ومما ساعد على ذلك أن الطاقة الكهربائية يتم توزيعها على شكل تيار متردد . ومن مميزات هذه المحرك :

١ تركيبه بسيط ومحكم .

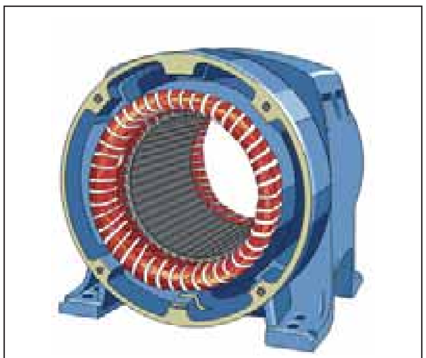
٢ تكلفته منخفضة نسبيا .

٣ اعتماديته عالية .

٤ معامل كفاءته عالٍ ، فلا وجود للفرش والخسائر الملحقة بها .

٥ صيانته قليله .

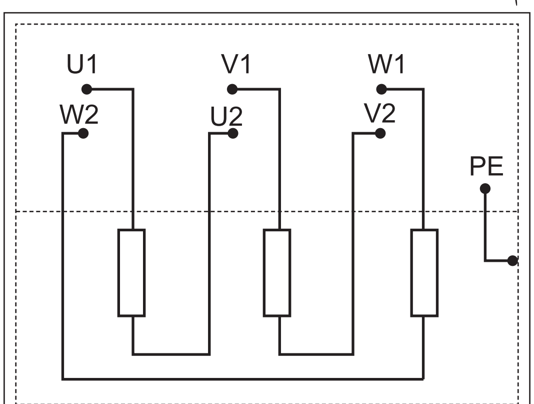
وعلى الرغم من هذة الميزات فانه ليس من السهل التحكم بسرعة هذا المحرك ، كذلك فان سرعته ثابتة نسبيا ، ولكنها تنخفض عند زيادة الحمل ، بالإضافة إلى أن عزم البدء له اقل من محركات التيار المستمر .



شكل (٢)

التركيب ومبدأ العمل :

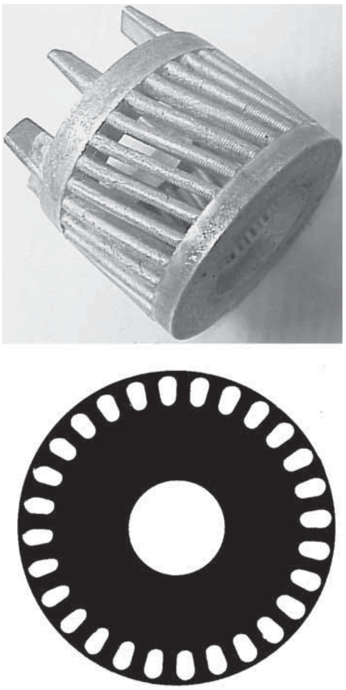
١ العضو الثابت : بعد اكتمال تصنيع العضو الثابت كما تم شرحه ، يتم تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب . وتقسم المجاري في كل قطب على الأوجه الثلاثة ، ثم بعد ذلك يتم تركيب ملفات كل وجه في المجاري الخاصة به تحت كل قطب بحيث يفصل بين كل وجه واخر ١٢٠ درجه كهربائيه شكل (٢) . أي انه وفي نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ثلاثة ملفات في العضو الساكن ، لكل ملف طرفان ، ويكون ترتيبها على لوحة توصيل المحرك كما في شكل (٣) . ويتم تغذية العضو الثابت : من



شكل (٣)

خلال هذه الأطراف السته بمصدر التغذية ثلاثي الأوجه بعد توصيلها نجمة أو دلتا .

٢ العضو الدائر : يتكون العضو الدائر من شرائح دائرية من الحديد المغناطيسي بها مجار كما هو موضح بالشكل . ويتم تركيب قضبان من الألمنيوم أو النحاس داخل هذه المجاري تنفذ من الجانبين وتلحم مع حلقتي قصر مشكلة ملفا على شكل قفص شكل (٤). ويتم ضغط هذه الشرائح وتركيبها على عمود لتشكل العضو الدائر للمحرك شكل (٥).


شكل (٤)


شكل (٥)

المجال المغناطيسي الدوار (Rotating Magnetic Field):

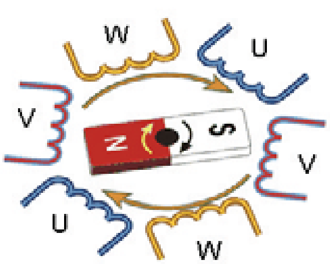
حيث أن ملفات العضو الثابت موصله إما على شكل نجمه أو دلتا ويوجد بين كل ملف وآخر ١٢٠ درجه ، فإنه عندما توصل هذه الملفات بمصدر جهد ثلاثي الأوجه بين كل وجه وآخر ١٢٠ درجة فانه سينشأ داخل العضو الساكن مجال مغناطيسي ثابت في المقدار ولكنه يدور بسرعة ثابتة تعتمد على عدد الأقطاب وتردد مصدر التغذية شكل (٦)، وتسمى سرعة دوران المجال المغناطيسي الدوار بالسرعة التزامنية (التوافقية) Synchronous Speed وتعطى بالعلاقة

$$Ns = (120 * f) / p$$

حيث Ns : السرعة التزامنية (التوافقية) ، دورة/ الدقيقة

f : تردد المصدر

P : عدد الأقطاب



شكل (٦)

مثال (١):

احسب السرعة التزامنية للمجال الدوار في محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ٤ أقطاب يعمل على مصدر جهد تردده ٥٠ هيرتز .

الحل :

$$Ns = (120 * f) / p$$

$$Ns = 120 * 50 / 4$$

Ns= 1500 دورة/ دقيقة

ومن العلاقة أعلاه وعند تردد 50Hz يمكن تنظيم الجدول التالي :

السرعة د/ د	٣٠٠٠	١٥٠٠	١٠٠٠	٧٥٠	٦٠٠
عدد الأقطاب	٢	٤	٦	٨	١٢

مبدأ العمل :

يمكن تلخيص مبدأ عمل المحرك بما يلي :

١ ينشأ مجال مغناطيسي دوار عند توصيل ملفات العضو الثابت مع مصدر التغذية الثلاثي الأوجه .

٢ يقوم المجال المغناطيسي الدوار بتوليد قوة دافعه كهربائية في قضبان (موصلات) العضو الدائر نتيجة وجود حركة نسبية بين المجال الدوار وقضبان العضو الدائر .

٣ يمر في قضبان العضو الدائر وحلقات القصر الجانبية تيارات عالية القيمة ، لكون مقاومة العضو الدائر قليلة .

٤ تصبح قضبان العضو الدائر والتي يمر بها تيار واقعة ضمن المجال المغناطيسي الدوار الناشيء عن ملفات العضو الساكن .

٥ تنشأ قوى ميكانيكية ينتج منها تولد عزم دوران يؤدي إلى دوران قضبان العضو الدائر (وبالتالي العضو الدائر نفسه) في نفس اتجاه المجال المغناطيسي الدوار .

ويكون تردد وقيمة التيارات المتولدة في العضو الدائر متناسبة مع السرعة النسبية بين المجال الدوار والعضو الدائر . فعندما يقطع المجال المغناطيسي الدوار موصلات العضو الدائر في البداية عندما يكون العضو الدائر في وضع السكون ، تكون السرعة النسبية بين المجال المغناطيسي الدوار والعضو الدائر عالية ، فتتولد في العضو الدائر قوة دافعة كهربائية (ق . د . ك) ذات تردد وقيمة أعلى ما يمكن . وعندما يبدأ العضو الدائر حركته يقل تردد وقيمة ق . د . ك المتولدة في ملفاته ، ويستمر هذا الانخفاض مع ازدياد سرعة العضو الدائر . ولكن من الناحية العملية لا يستطيع العضو الدائر أن يلحق تماما بالمجال المغناطيسي الدوار ، لأنه لو دار بنفس السرعة لانعدمت السرعة النسبية بين المجال الدوار والعضو الدائر ، ولما تولدت قوة دافعة كهربائيه وبالتالي لا يتولد العزم المسبب للدوران . ولهذا السبب فان العضو الدائر يدور دائماً بسرعة أقل من السرعة التزامنية بمقدار قليل . ويسمى الفرق بين هاتين السرعتين بسرعة الانزلاق .

سرعة الانزلاق = السرعة التوافقية سرعة المحرك

ويعبر عنها بنسبة مئوية تسمى الانزلاق (Slip)(s)

$$\text{الانزلاق (S)} = \frac{\text{السرعة التوافقية} - \text{سرعة المحرك}}{\text{السرعة التوافقية}} \times ١٠٠٪$$

$$N = \frac{Ns-N}{Ns} x100\%$$

وهي كمية مهمة جدا في تحليل خصائص المحرك الحثي .

عند عمل المحرك بدون حمل تكون سرعة المحرك عالية وقريبة من السرعة التزامنية ، ولهذا تكون قيمة الانزلاق قليلة . عند تطبيق حمل على المحرك تبدأ سرعة المحرك بالانخفاض فتزداد السرعة النسبية بين السرعة التوافقية للمجال وسرعة المحرك ، فتزداد القوة الدافعة الكهربائية والتيار المار في العضو الدائر، مما يسبب تولد عزم دوران أعلى في المحرك . ويستمر هذا الوضع حتى يصل المحرك إلى نقطة يتساوى فيها العزم المتولد مع عزم الحمل فيدور المحرك عندها بسرعة ثابتة، ولكن عند سرعة اقل من السرعة التي كان يدور عليها بدون حمل . وحتى عند تحميل المحرك فإن سرعة المحرك تبقى قريبة من السرعة التوافقية للمجال . ولهذا السبب فان المحرك الحثي يعد من المحركات ذات السرعة الثابتة نسبيا .

مثال (٢):

محرك حثي ٤ أقطاب ، ٣ فاز ، يعمل على مصدر قدرة ذو تردد 50Hz، احسب :

١ السرعة التزامنية للمجال الدوار .

٢ سرعة المحرك عند نسبة انزلاق = ٠,٠٣ .

الحل :

$$Ns = (120 * f) / p$$

$$Ns = 4 / 50 * 120 = 1500$$ دورة / دقيقة

سرعة المحرك (N) = Ns(1- s) = 1500 (1 - 0.03) = 1440 دورة / دقيقه

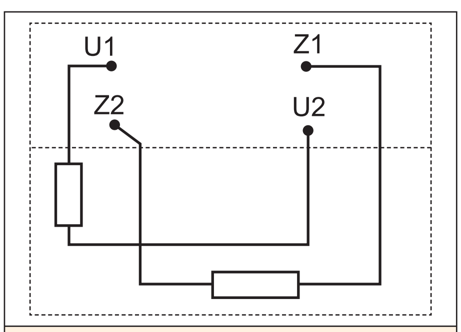
عكس اتجاه دوران محركات الثلاثة اوجه:

يتم عكس اتجاه دوران محركات الثلاثة أوجه بتبديل اتصال أي وجهين من أوجه المصدر الثلاثة بالمتصلة بالمحرك .

المحرك الحثي أحادي الوجه: (Single Phase Induction Motor)

يتركب هذا المحرك من جزئين :-

١ العضو الساكن : وهو يشبه تركيب المحرك الحثي ثلاثي الاوجه من حيث التركيب العام . أما من ناحية الملفات فيتم في هذا المحرك وضع مجموعتين من الملفات (ملفين) : المجموعة الأولى (الملف الأول) وتسمى الملفات الرئيسية أو ملفات التشغيل ، والمجموعة الثانية (الملف الثاني) وتسمى الملفات المساعدة أو ملفات البدء أو ملفات التقويم، وتلف مجموعتي الملفات بحيث تكون الزاوية بينهما ٩٠ درجة كهربائية . أي انه



شكل (٣)

وفي نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ملفين في العضو الساكن لكل ملف طرفان شكل (٧)،

حيث يمثل U ملف التشغيل ، و Z ملف البدء .

٢ العضو الدائر : وهو من نوع القفص السنجابي ويشبه تماما العضو المستخدم في المحركات الحثية ذات الثلاث أوجه .

مبدأ العمل : في حالة وجود مجموعة واحدة من الملفات في محركات الوجه الواحد وسريان تيار ذي وجه واحد في ملفات العضو الساكن ، فان المجال المغناطيسي داخل العضو الساكن يتغير تبعا لتغير الموجة الجيبيه ، أي يزداد هذا المجال حتى يصل قيمته العظمى ثم يتناقص إلى الصفر ، ثم ينعكس اتجاهه مع انعكاس التيار وهكذا . وهذا المجال ليس دوارا ، ولذلك لا يستطيع محرك الوجه الواحد أن يبدأ حركته بمجموعة واحدة من الملفات . أما إذا بدأنا حركة العضو الدائر ميكانيكيا بطريقة ما ، فان هذا المحرك وبعد دورانه يستطيع الاستمرار في الدوران بمجموعة واحدة من الملفات بفعل قوة التجاذب والتنافر بين الأقطاب المغناطيسية للعضوين الثابت والدائر . ولهذا ومن ناحية عملية فانه يتم تمرير موجة تيار أخرى في مجموعة ثانية من الملفات في العضو الساكن مزاحة عن موجة التيار في المجموعة الأولى بزاوية تكفي لتوليد مجال مغناطيسي دوار . أي أن المجال المغناطيسي الدوار يتم في المحرك الحثي أحادي الطور بواسطة تمرير تيارين بينهما زاوية كافية (يفضل أن تكون اقرب ما يمكن إلى ٩٠ درجة) في مجموعتين من الملفات بحيث تفصل بينهما زاوية ٩٠ درجة كهربائية . وبذلك فان المحرك الحثي أحادي الطور يتحرك بواسطة المجال المغناطيسي الدوار الذي يقطع قضبان العضو الدائر كما في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه . وتعطى سرعة المجال الدوار (السعة التزامنية) في المحرك الحثي أحادي الطور بالعلاقة :

$$Ns = (120 * f) / p$$

ويدور المحرك فعليا بسرعة أقل قليلا من السرعة التزامنية كما في محركات الثلاثة اوجه .

عكس اتجاه دوران محركات الوجه الواحد :

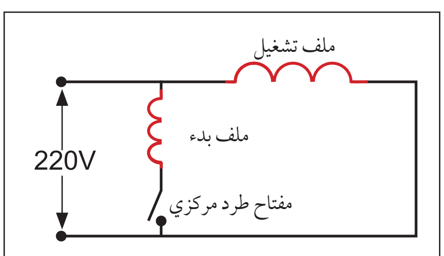
ويتم عكس اتجاه دوران محركات الوجه الواحد التي تحتوي على ملفي البدء والتشغيل بواسطة عكس توصيل نهايتي ملف التشغيل أو ملف البدء وليس كليهما وذلك بالنسبة للمصدر .

أنواع المحركات الحثية أحادية الوجه:

وتصنف محركات الوجه الواحد تبعا لطريقة البدء فيها ، وتسمى عادة بناء على هذا الأساس . وفيما يلي أهم الأنواع الشائعة الاستعمال لهذه المحركات .

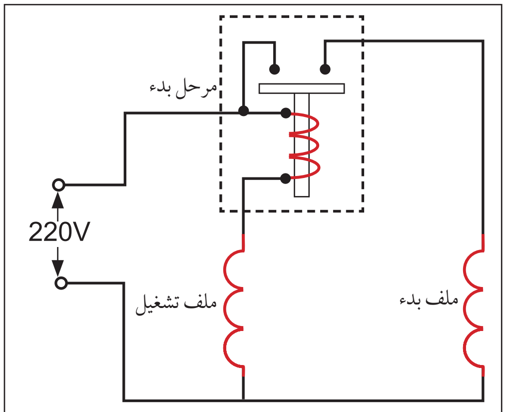
المحرك ذو الوجه المشطور :(Split Phase Motor)

يحتوي العضو الساكن لهذا المحرك على ملفين : الأول هو الملف الرئيسي أو ملف التشغيل ويكون عادة ذي ممانعة تأثيرية عالية ومقاومة منخفضة وموضوع في قاع المجرى . والملف الثاني هو ملف البدء أو ملف التقويم ويكون ذو ممانعة تأثيرية منخفضة ومقاومة عالية ويستعمل في لفه سلك ذو مساحة مقطع صغيره بالنسبة



شكل (٨-أ)

إلى ملف التشغيل . وتكون الزاوية بين محوري الملفين ٩٠ درجة كهربائية في الفراغ ، أما الزاوية بين تياري الملفين فتكون قليلة (٢٥ - ٣٠) درجه ولكنها كافية لتوليد مجال مغناطيسي دوار يؤدي لتوليد عزم البدء اللازم لبدء حركة المحرك . ويوصل ملف التقويم عن طريق مفتاح الطرد المركزي على التوازي مع ملف التشغيل كما في الشكل (٨- أ) . عند بداية العمل يكون مفتاح الطرد المركزي موصلا ، لذلك يتم توصيل ملف التشغيل على التوازي مع ملف البدء ليبدأ المحرك حركته ، وعندما تصل سرعة المحرك إلى حالي ٧٥٪ من السرعة الاسمية يقوم مفتاح الطرد المركزي بفصل ملفات البدء من الدارة ، ليبقى المحرك يدور بتأثير ملفات التشغيل فقط . أما الشكل (٨- ب) فيبين طريقة أخرى لبدء حركة هذا المحرك وذلك عن طريق مرحل بدء خاص . في البداية يكون ملف البدء مفصولا بسبب ملامس المرحل الذي يكون في حالة الفصل ، عند توصيل المصدر إلى المحرك يمر تيار عالٍ في ملف المرحل وملف التشغيل الموصولين على التوالي ، ونتيجة لهذا التيار العالي تتولد قوة جذب كافيه لجذب قلب الملف ، فيوصل ملامس المرحل ومن ثم وصل ملف البدء على التوازي مع ملف التشغيل مما يسبب بدء دوران المحرك . ولكن بعد وصول المحرك إلى سرعة عالية يقل التيار المار في ملف التشغيل فتضعف قوة الجذب لقلب الملف ؛ مما يسبب فصل ملامس المرحل وفصل ملف البدء من الدارة ليستمر المحرك في الدوران بملف التشغيل فقط .

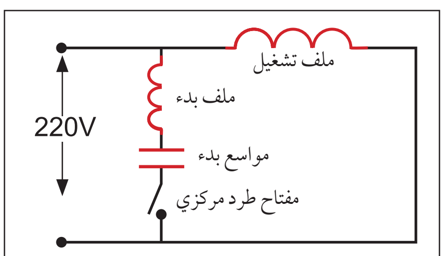


شكل (٨-ب)

ومن خواص محرك الوجه المشطور أن العزم المتولد عند بدء الحركة يكون معتدلا ، كما أن سرعته لا تتأثر كثيرا مع الحمل .

المحرك ذو المواسع :

ويحتوي هذا المحرك على ملفين مثل محرك الوجه المشطور ، ويتم توصيل مواسع على التوالي مع ملف البدء لزيادة فرق الطور بين تياري البدء والتشغيل ليقترب إلى ٩٠ درجه . ويمكن تصنيف هذا المحرك إلى أنواع :

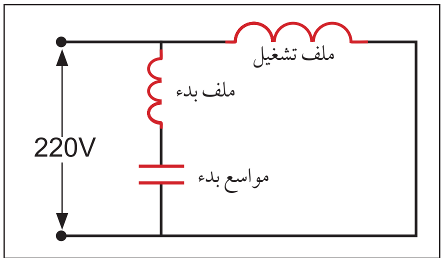


شكل (٩)

١ المحرك ذو مواسع البدءCapacitor Start Motor:
ويتم فيه توصيل مواسع على التوالي مع ملف البدء ومفتاح الطرد المركزي ، كما هو واضح في الشكل (٩) . عند بداية العمل يكون المواسع موصولا على التوالي مع ملف البدء . بعد وصول سرعة المحرك إلى حوالي ٧٥٪ من السرعة الاسمية يقوم مفتاح الطرد المركزي بفصل ملف التقويم والمواسع ليبقى المحرك يعمل بفعل ملف التشغيل فقط .

٢ المحرك بمواسع حركه (Capacitor Run Motor) : في هذا المحرك يبقى ملف الحركة وملف

البدء موصولين على التوازي أثناء فترة البدء، وكذلك أثناء التشغيل، حيث تم الاستغناء عن مفتاح الطرد المركزي شكل (١٠). في هذا النوع يجب تصميم ملف البدء ليعمل عند الحمل المطلوب طوال الوقت. كما أن المواسع يجب أن يكون مصمما بحيث يعمل لفترة طويلة وذلك طوال فترة عمل المحرك (لونه ابيض). ويمتاز هذا المحرك بهدوئه أثناء العمل، كما أن وجود المواسع أثناء العمل يؤدي إلى تحسين معامل القدرة.



شكل (١٠)

٣ المحرك بمواسع بدء ومواسع حركة (Start-Capacitor Run Capacitor): يتم استخدام مواسعين يستخدم أحدهما خلال فترة البدء والآخر يستمر في عمله أثناء فترة التشغيل شكل (١١). ويمكن هذا من الحصول على أفضل خواص للمحرك أثناء فترتي البدء والتشغيل، ويمتاز بقدرته على بدء الأحمال الثقيلة. ويكون مواسع البدء ذا قيمة عالية، ومصمما ليعمل خلال فترة البدء فقط (لونه اسود في العادة) وذلك لتقليل التكلفة. أما مواسع الحركة فيبقى موصولا على التوالي مع ملف البدء خلال تشغيل المحرك.



شكل (١١)

ويستعمل المحرك ذو المواسع على نطاق واسع لتشغيل ضاغطات الهواء والمكابس والغسالات والمضخات وغير ذلك من الأحمال العالية والمتوسطة، والتي تصل أحيانا إلى ٥ كيلوواط. ويتميز هذا المحرك أن العزم المتولد عند بدء الحركة يكون عاليا، حيث يمكن أن يصل إلى أربعة أضعاف عزم الحمل الكامل.

٤ المحرك ذو القطب المظلل (Shaded Pole Motor): يختلف هذا المحرك في تركيبه عن محرك الوجه المشطور أو المحرك ذو المواسع. ويتكون العضو الثابت لهذا المحرك من أقطاب بارزه ملفوف عليها الملفات الرئيسية للمحرك. وكل قطب مقسوم إلى جزأين بواسطة مجرى صغير، حيث يتم إحاطة (تطويق) جزء من كل قطب بلفة مقصورة بواسطة شريط نحاسي ذو مقطع سميك يسمى الملف المظلل كما هو موضح بالشكل (١٢). أما العضو الدائر فهو من نوع القفص السنجابي. يتولد في الملف المظلل بفعل المجال المغناطيسي الناتج عن الملف الرئيسي تيارات تؤدي إلى تولد فيض مغناطيسي يعاكس فيض الملفات الرئيسيه. وبفعل الشكل الجيبي لموجة المصدر يتولد مجال مغناطيسي في الأقطاب البارزة يتحرك من الجزء

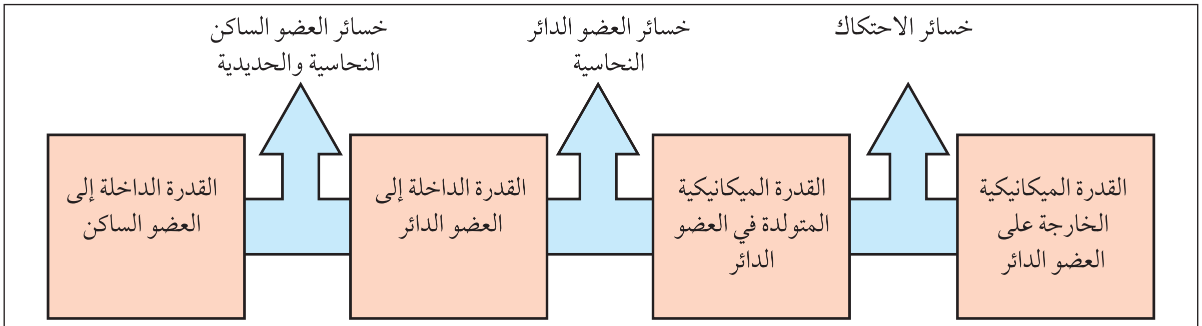


شكل (١٢)

غير المظلل باتجاه الجزء المظلل بما يشبه اثر المجال المغناطيسي الدوار ، مما يؤدي إلى نشوء عزم حركة يعمل على دوران المحرك . ويمتاز هذا المحرك برخص الثمن وبساطة التركيب، ويستخدم في الأحمال التي لا تحتاج إلى عزم بدء عال مثل المراوح الصغيرة والألعاب ومضخات المياه المستخدمة في غسالات الملابس .

القدرة في المحركات الحثية احادية وثلاثية الأوجه :

المخطط التالي شكل (١٣) يبين انسياب القدرة في المحرك الحثي بشكل عام .



شكل (١٣)

تعطى القدرة الداخلة إلى المحرك الحثي أحادي الوجه بالعلاقة : $Pin = V_{ph}\ I_{ph} \cos$

حيث V_{ph} : جهد الوجة

I_{ph} : تيار الوجه

$Cos\Phi$: معامل القدرة للمحرك

وتعطى القدرة الداخلة إلى المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بالعلاقة : $Pin = \sqrt{3}_{VL}\ I_L \cos$

حيث V_L : جهد الخط (الجهد بين طور وآخر) بالفولت

I_L : تيار الخط ، بالأمبير

$\cos\Phi$: معامل القدرة للمحرك

يقوم المحرك بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية . أما القدرة الميكانيكية الخارجة فتعطى بالعلاقة $Pout = T\ .\omega$

حيث T : العزم ، بالنيوتن . م

ω : السرعة الزاوية ، راديان / ثانية

يعرف العزم بشكل عام بأنة قوة التدوير التي تسبب دوران الأجسام . ووحدة قياسه نيوتن . م

ويعطى بالعلاقة : $T = F\ .\ r$

حيث أن :

T : العزم

F : القوة العموديه على الخط بين نقطة عمل القوة ومحور الدوران

r : المسافة بين نقطة عمل القوة ومحور الدوران

وتكون العلاقة بين القدرة الداخلة والقدرة الخارجة : $\eta = Pout \ / \ Pin$

حيث η : معامل كفاءة المحرك

Pout : القدرة الميكانيكية الخارجة

Pin : القدرة الكهربائية الداخلة

مثال (١):

محرك حثي 3Φ , 400 V , 50Hz ، قدرته 22kw يعمل عند التحميل الكامل على سرعة 1430 د/ د عند معامل قدرة 0.75 وبمعامل كفاءة 0.85 . احسب

١ عدد أقطاب المحرك

٢ التيار الذي يسحبه المحرك عند الحمل الكامل .

الحل :

١ بما أن اقرب سرعة تزامنيه عند تردد HZ50 إلى سرعة المحرك هي 1500 د/ د ، والتي عندها يكون عدد الأقطاب يساوي ٤ أقطاب . إذن عدد أقطاب المحرك تساوي ٤ أقطاب .

٢ $\eta = Pout \ / \ Pin$ ومنها $Pin = Pout \ / \ \eta$

$Pin = 22000 / 0,85 = 25882.4$ واط

ولكن $Pin = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\Phi$

$25882.4 = \sqrt{3} \times 400 \times I_L \times 0.75$

ومنها $I_L = 49.87$ أمبير

بدء الحركة في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

عند بدء حركة المحركات الحثية يجب الأخذ بعين الاعتبار العوامل التالية :

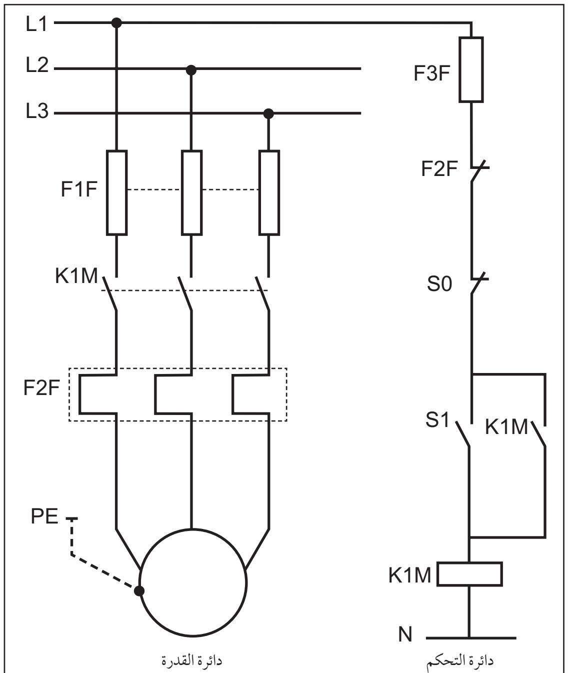
١ يصل تيار بدء المحركات الحثية الثلاثية الأوجه إلى (٤ – ٨) أضعاف تيار الحمل الكامل عند توصيله توصيلا مباشرا على الخط . وهذا التيار الكبير يمكن أن تكون له آثاره السلبية على المحرك أو الحمل أو نظام التغذية الكهربائي . ولذلك فان الأنظمة الكهربائيه من قبل الشركات المزودة للطاقة تتطلب استخدام طرق لبدء هذه المحركات وذلك للحد من تيار البدء .

سؤال: اذكر الآثار السلبية المحتملة لتيار البدء العالي على كل من المحرك والحمل ونظام التغذية الكهربائي .

٢ من أجل تخفيض تيار البدء، يلزم تخفيض الجهد الواصل إلى أطراف المحرك. ولكن العزم في هذه المحركات يتناسب تناسبا طرديا مع مربع الجهد، مما يعني أن تخفيض تيار البدء سوف يصاحبه انخفاض في عزم البدء الذي يجب أن يكون أعلى من عزم الحمل عند البدء ، مما قد يعني في بعض الأحيان عدم

توفر العزم اللازم لمسارعة المحرك من حالة السكون إلى السرعة الاسمية، وبالتالي فشل عملية بدء الحركة للمحرك.

وهناك عدة طرق لبدء حركة المحركات الحثية ثلاثية الأوجة ، وفي حالة الحاجة لتخفيض تيار البدء فيجب اختيار طريقة البدء بحيث يتم تخفيض تيار البدء بدون انخفاض عزم البدء اللازم لمسارعة الحمل . وفيما يلي بعض الطرق المتبعة لبدء الحركة :



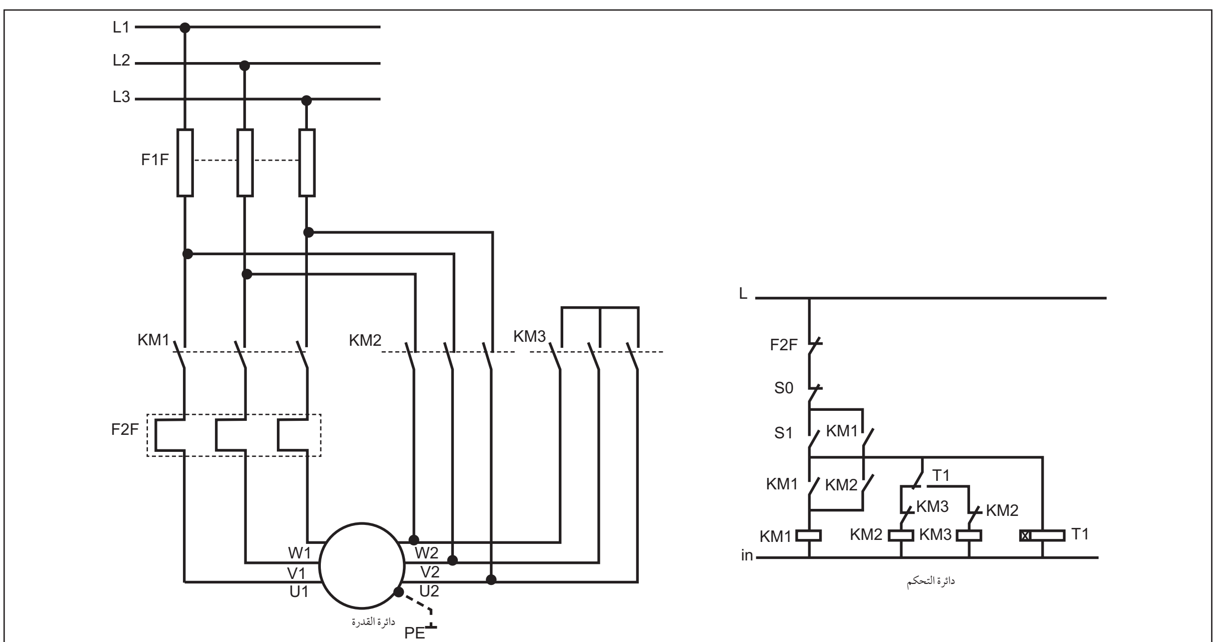
شكل (١٤)

١- التوصيل على الخط : Direct On line Starting

ويتم في هذه الطريقة توصيل ملفات المحرك بصورة مباشرة مع الجهد الكامل . وتستعمل هذه الطريقة لبدء المحركات الصغيرة القدرة والتي لا تتجاوز 5.5KW، أو عندما يكون المحرك ومصدر القدرة قادرين على تحمل تيار البدء العالي وذلك حسب أنظمة الشركة المزودة للطاقة الكهربائية . ويبين الشكل (١٤) طريقة تنفيذ ذلك .

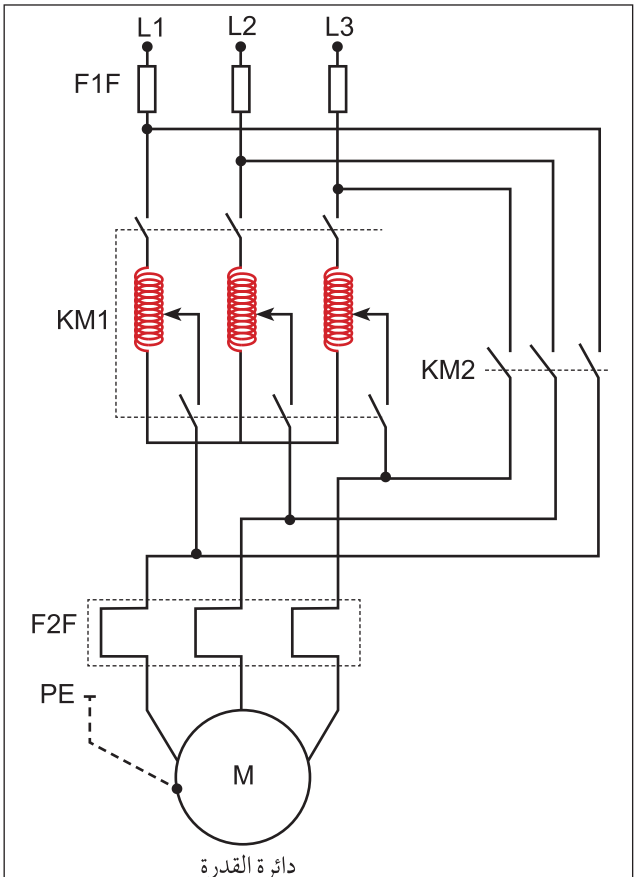
٢- البدء بطريقة نجمة - مثلث : (Star Delta - Starting)

في هذه الطريقة يتم توصيل المحرك مع مصدر الجهد الثلاثي الأوجه بعد توصيل ملفاته توصيلة ستار، وذلك خلال فترة بدء الحركة. وبعد وصول المحرك إلى حوالي ٨٠٪ من السرعة الاسميه يتم تحويل توصيلة ملفات المحرك إلى وضع الدلتا شكل(١٥).



شكل (١٥)

حيث يبقى على هذه التوصيلة أثناء التشغيل . ويشترط لتنفيذ هذه الطريقة أن :



شكل (١٦)

١ يجب أن تكون أطراف ملفات المحرك الستة خارجة من المحرك .

٢ نهايات وبدايات الملفات معروفة ومحدده .

٣ أن يكون الجهد الاسمي للمحرك عند توصيلة الدلتا يساوي جهد المصدر .

٤ أن يكون عزم بدء المحرك بتوصيلة ستار كافيا لمسارعة المحرك والحمل إلى السرعة الاسمية .

ويتم بهذه الطريقة تخفيض تيار البدء إلى الثلث فيما لو تم بدء المحرك بتوصيلة الدلتا . ولكن عزم البدء يصبح أيضا ثلث عزم البدء فيما لو تم بدء المحرك بتوصيلة الدلتا. ولذلك فإن هذه الطريقة تستخدم فقط لبدء الحركة في حالة اللاحمل أو بحمل قليل . ويبين الشكل التالي كيفية تنفيذ هذه الطريقه ، حيث يعمل المفتاحان التلامسيان KM1,KM3 خلال فترة البدء (يتم توصيل المحرك ستار) ، فيما يعمل المفتاحان التلامسيان KM1,KM2 طوال فترة التشغيل حيث يعمل المحرك بتوصيلة الدلتا .

٣- البدء بطريقة المحول الذاتي : (Auto-transformer Starting)

يمكن تخفيض الجهد على المحرك بواسطة استخدام محول ذاتي شكل (١٦) ، وبالتالي تخفيض تيار البدء . ومن مميزات هذه الطريقة :

١ يتم تخفيض تيار البدء وعزم البدء بنفس النسبة .

٢ يمكن بدء المحركات الموصولة داخليا سواء توصيلة ستار أو توصيلة الدلتا طالما أنها مصممة لتعمل على جهد الخط .

٣ يمكن الحصول على تسارع متدرج للمحرك باستخدام محول ذي نقاط جهد مختلفة .

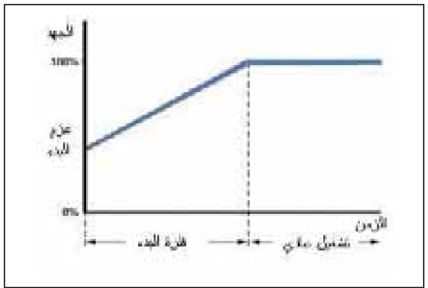
ويبن الشكل (١٦) كيفية تنفيذ هذه الطريقة حيث يعمل KM1 في البداية ثم يعمل KM2 مسببا فصل KM1 ليبقى المحرك يعمل على KM2 .

٤- بادئات الحركة الالكترونية : (**Electronic Soft Starters**)

يمكن عن طريق هذه البادئات التحكم ببدء المحرك وحتى إيقافه بتدرج ، بحيث تكون عملية بدء المحرك

ناعمة بدون قفزات مع إمكانية التحكم في الجهد اوالتيار اوالعزم .

فبالنسبة لبدء المحرك فيمكن بدء المحرك بواسطة التحكم بالجهد، حيث يتم ضبط جهد البدء ما بين 0 – 50% من القيمة الاسمية مثلا، ثم تقوم الدارة الالكترونية في البادىء بزيادة الجهد على أطراف المحرك بالتدريج لتعطي عزم بدء متزايد للحمل . وتتم برمجة الزمن بين تطبيق جهد البدء وجهد الخط على المحرك ما بين 1 - 60 ثانية مثلا شكل (١٧).



شكل (١٧)

ويمكن بدء المحرك بواسطة التحكم بالتيار ، حيث يتم في هذه الحالة ضبط القيمة القصوى لتيار البدء ، وبناء على ذلك تقوم الدارة الالكترونية بضبط قيمة الجهد اللازم تطبيقه على المحرك خلال فترة البدء ، وعندما يقترب المحرك من السرعة الاسمية يتم توصيله مع جهد الخط .

ويمكن كذلك التحكم بإيقاف المحرك . فمثلا يمكن أن يتم إيقاف المحرك والحمل بالتدريج حيث تمنع التوقف المفاجىء غير المرغوب فيه في بعض التطبيقات . والعكس صحيح ، حيث يمكن إيقاف المحرك بشكل مفاجىء لحالات الطوارىء مع قيام البادىء بكبح المحرك لإسراع إيقاف المحرك . وبعد فترة البدء تبقى بعض أنواع هذة البادئات بالدارة ، فيما تقوم بعضها الآخر بتشغيل مفتاح تلامسي على التوازي مع البادىء من اجل إخراجه من الدارة بعد اكتمال عملية بدء المحرك .

وفي معظم هذه البادئات تتوفر حمايات أخرى للمحرك ، وتشمل انقطاع أحد الأوجه ، عكس الأوجه والتماس مع الأرضي وغيرها .

ومن أهم مميزات هذه البادئات :

١ التحكم في منحنى خواص المحرك ليناسب الحمل .

٢ زيادة عمر المحركات .

٣ زيادة عدد مرات البدء في الساعة بدون خوف .

تغيير سرعة المحركات الحثية :

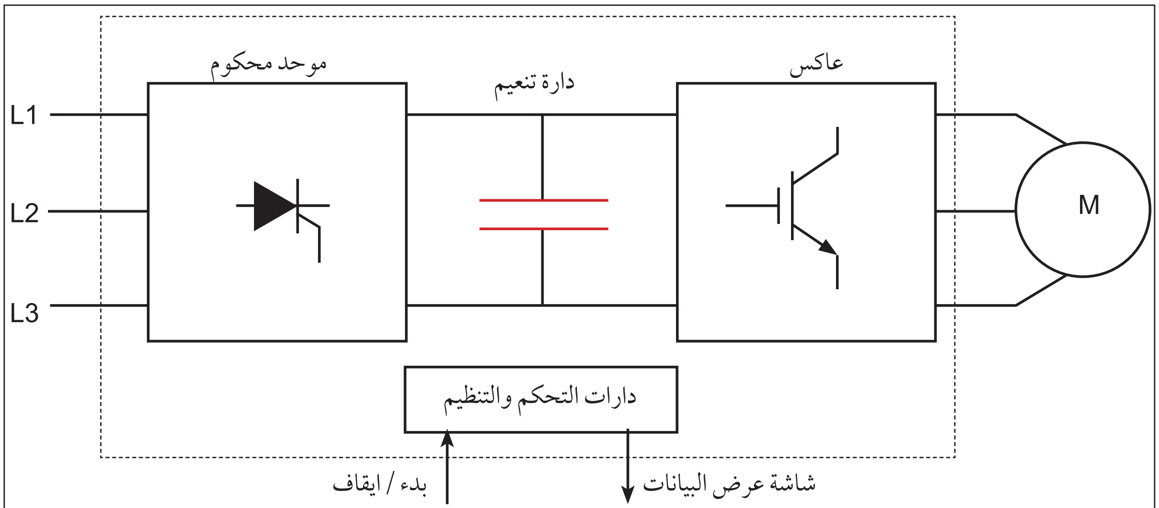
تعتمد سرعة المحركات الحثيه ذات الوجه الواحد أو الثلاثة أوجه على سرعة المجال المغناطيسي الدوار (السرعة التزامنيه) . وهذه السرعة تتحدد بالعلاقة :

$$Ns =(120 * f) / p$$

ومن هذه العلاقة ، فإنه يمكن تغيير سرعة المحركات الحثيه بواسطة التحكم أو تغيير :

١- تردد المصدر : حيث تتناسب سرعة المحرك تناسبا طرديا مع التردد ، فكلما زاد التردد زادت سرعة المحرك . ويتم ذلك هذه الأيام باستخدام مغيرات السرعة الالكترونية (Inverter) والتي تقوم بتحويل الموجه المترددة إلى فولتيه مستمرة ، ثم يتم بواسطة داره الكترونية تسمى العاكس بتحويل الموجه المستمرة إلى موجة مترددة بتردد آخر يتم تزويدها إلى أطراف المحرك ، فتتغير سرعة المحرك شكل

(١٨) . ويقوم مغير السرعة الالكتروني عند تغيير تردد المصدر بالحفاظ على النسبة بين الجهد الواصل إلى المحرك إلى التردد (V/f) ثابتة، وذلك لتثبيت العزم المتولد في المحرك وذلك من التردد صفر إلى التردد الاسمي للمصدر . ونظرا لانتشار مغيرات السرعة المذكورة وانخفاض أسعارها نسبيا مع الوقت ، فقد انتشر استبدال محركات التيار المستمر بمحركات حثية في كثير من التطبيقات والتي كانت حكرا على محركات التيار المستمر نظرا لسهولة التحكم بسرعتها . ومن الجدير ذكره أن مغيرات السرعة المذكورة تقوم بالإضافة إلى التحكم بسرعة المحرك بتوفير الحمايات المختلفة للمحرك مع القيام بمهام بادئ الحركة الالكتروني السابق ذكره .



شكل (١٨)

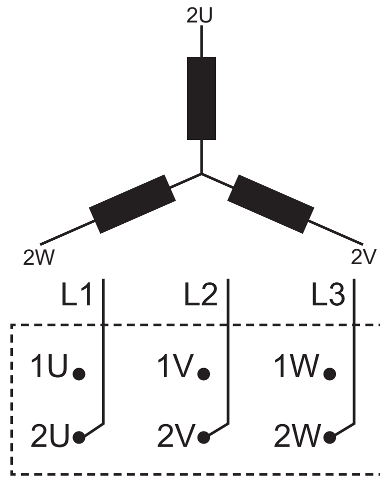
٢- عدد الأقطاب : يتم لف ملفات المحرك بحيث يمكن توصيل أطراف المحرك بأكثر من طريقه للحصول على عدد أقطاب مختلف للمحرك في كل طريقه . وبذلك يدور المحرك بسرعة مختلفة باختلاف عدد الأقطاب . ومن الطرق المستخدمة عمليا :

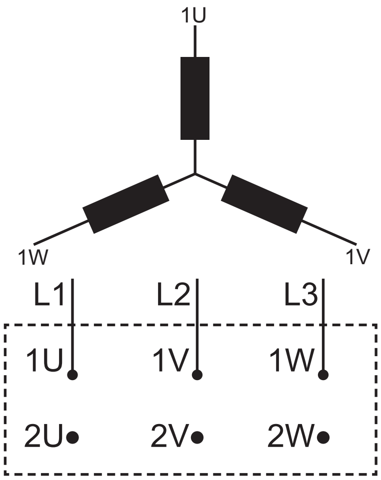
أ- لف المحرك كمحركين منفصلين بأقطاب مختلفة. ويسمى المحرك في هذه الحالة بالمحرك بملفات منفصله شكل (١٩). عند توصيل المصدر إلى الأطراف 1U,1V,1W فان المحرك يعمل على سرعة مختلفة عن السرعة التي سيعمل عليها عند توصيل المصدر إلى الأطراف 2U,2V,2W

ب- محرك دلاندر : يتم في هذا المحرك لف ملفات المحرك بحيث يمكن توصيل نفس الملفات لتعمل بعدد أقطاب مختلفه . وتكون العلاقة بين عدد الأقطاب عادة هي الضعف ، وبالتالي فان سرعة المحرك تتغير بنسبة ١ : ٢ حسب عدد الأقطاب شكل (٢٠) ، حيث يدور في الشكل(٢٠-أ) بالسرعة العالية (توصيلة ستار على التوازي للملفات الداخليه) ، وبالسرعة المنخفضة شكل (٢٠-ب) حيث توصل ملفات المحرك توصيلة دلتا على التوالي .

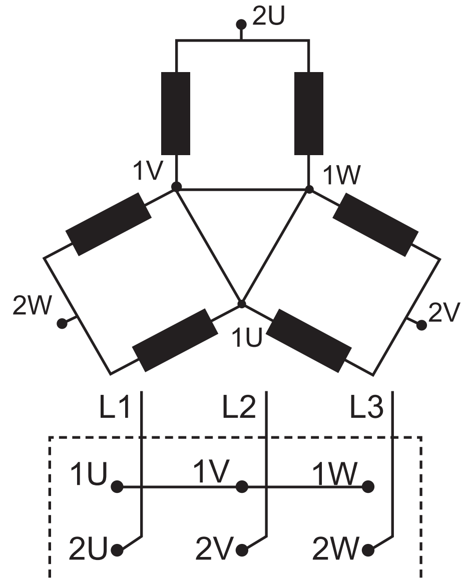
جـ- يتم جمع الطريقتين أعلاه في محرك واحد للحصول على محرك بثلاث سرعات مختلفة شكل (٢١) .

شكل (١٩)

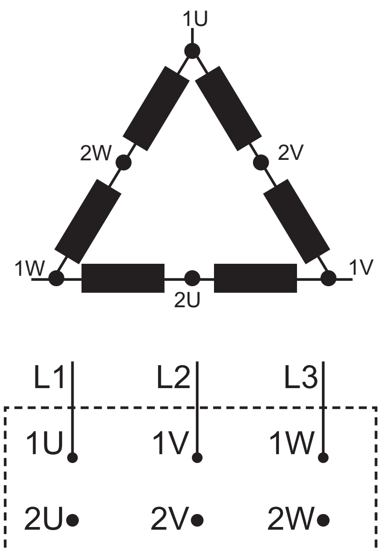




شكل (٢٠)

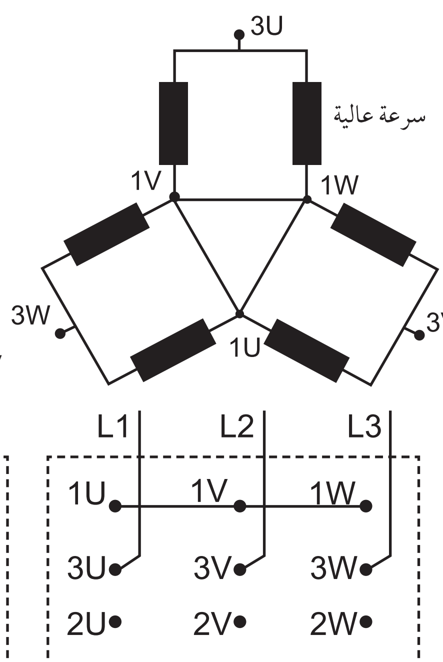


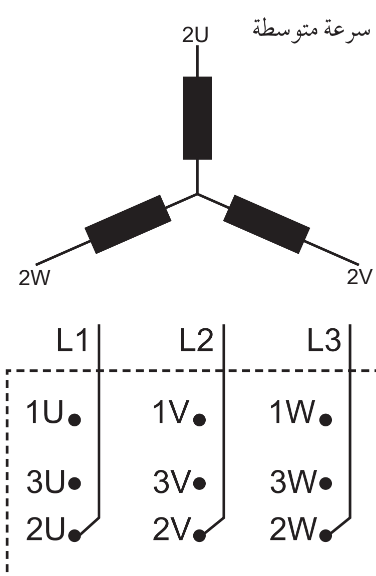
(أ)

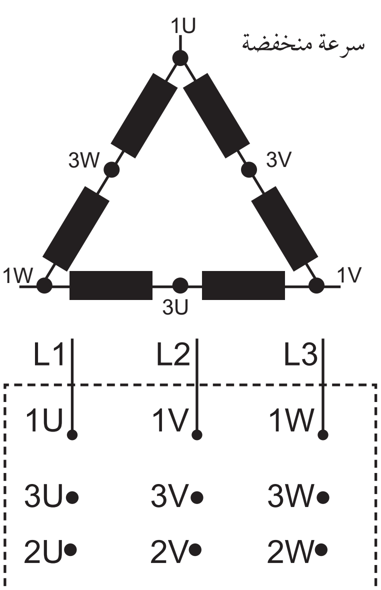


(ب)

شكل (٢١)





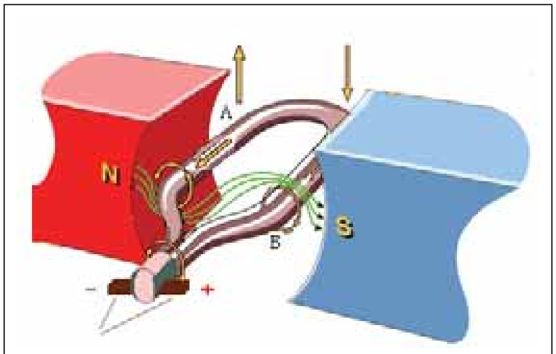


(٢) محركات التيار المستمر: (DC Motors)

التركيب العام ومبدأ العمل :

في الماضي كان محرك التيار المستمر يعتبر المحرك الرئيسي في الصناعة . فقدا كان هذا المحرك شائع الاستعمال بسبب إمكانية مسارعته وإبطائه بسرعة وسهولة ونعومة ، بالإضافة إلى إمكانية التحكم بسرعته وعزمه ضمن مجال واسع بسهوله .

يعتمد محرك التيار المستمر في عمله على مبدأ انه إذا مر تيار كهربائي في موصل موضوع في مجال مغناطيسي ، فان هذا الموصل سوف يتأثر بقوة تعتمد على طول الموصل وشدة المجال المغناطيسي والزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي . ويتكون محرك التيار المستمر البسيط من ملف وصلت نهايتيه بقطعتين نحاسيتين معزولتين عن بعضهما عليهما فرشتان من الكربون تنزلقان على القطعتين النحاسيتين بحيث لا تسببان إعاقة للدوران، وتتصل الفرشتين بمصدر جهد مستمر كما هو موضح في الشكل (٢٢) .

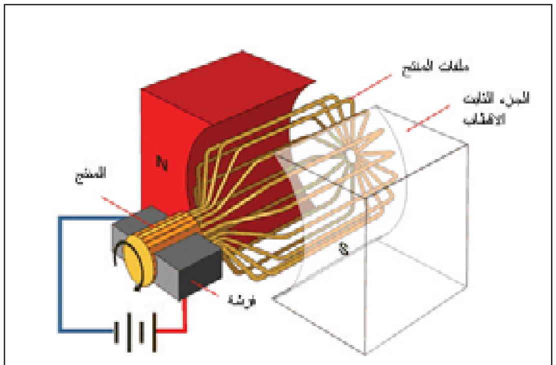


شكل (٢٢)

عند توصيل مصدر الجهد عن طريق الفرشتان فإن اتجاه التيارفي طرف الملف B سوف يكون بعيدا عن الناظر ، بينما اتجاه التيار في الطرف B من الملف هو باتجاة الناظر . وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى الخاصة بالمحرك أو تحليل تكثف خطوط المجال على طرفي الملف نجد أن القوة المؤثرة على طرف الملف A سوف تكون في الاتجاه العلوي بينما القوة المؤثرة على طرف الملف B سوف تكون في الاتجاه السفلي . وبذلك يتكون عزم ازدواج يقوم بإدارة الملف مع قطعتي النحاس المتصلتين به باتجاه عقارب الساعة حتى يصبح مستوى الملف عموديا فتصبح القوى المؤثرة على طرفي الملف متعاكسة ولا تولد الازدواج اللازم لاستمرار الدوران، ولكن الملف يستمر في الدوران قاطعا المستوى العمودي بفعل القصور الذاتي للملف .

عند ذلك تصبح القطعة النحاسية الموصولة مع طرف الملف A متصلة مع الفرشة الموصوله مع الطرف الموجب للمصدر ، بينما تصبح القطعة النحاسية الموصولة مع طرف الملف B متصلة مع الفرشة الموصولة مع الطرف السالب للمصدر ، أي أن اتجاه التيار سوف ينعكس في الملف . وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى للمحرك في هذة الحالة نجد أن طرف الملف A سوف يتأثر بقوة نحو الأسفل بينما طرف الملف B يتأثر بقوة إلى الأعلى مما يسبب استمرار دوران الملف في نفس الاتجاه حيث يتم عكس اتجاة سريان التيار في الملف كل نصف دورة .

ويطلق على القطعة المكونة من القطعتين النحاسيتين مع العازل الموجود بينهما اسم الموحد (Com-mutator) . ويقوم الموحد بعكس اتجاه التيار في الملفات حتى يبقى المحرك يدور في نفس الاتجاه . وكما نلاحظ فان عزم الدوران يتغير حسب وضع الملف داخل المجال المغناطيسي مما يسبب عدم انتظام حركة



شكل (٢٣)

الملف (وخصوصا عند وجود حمل ميكانيكي متصل مع الملف) . ولهذا السبب يتم تركيب عدة ملفات على قلب من مادة مغناطيسية تتصل أطرافها مع موحد متعدد القطع النحاسية شكل (٢٣)، ويطلق على هذا الجزء اسم المنتج (Armature) . ويجب الانتباه إلى ظاهرة أخرى تحدث في المحرك . وهي انه وفي نفس الوقت الذي يدور فيه الملف أعلاه نتيجة مرور تيار كهربائي فيه، فانه نتيجة لدوران الملف في المجال المغناطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية على طرفي الملف تكون ذات قطبية معاكسة لمصدر الجهد الخارجي (ولكنها اقل منها قيمة) وذلك حسب القاعدة الكهرومغناطيسية بان تحريك موصل داخل مجال مغناطيسي بحيث يقطع خطوط المجال يؤدي إلى توليد قوة دافعه كهربائية، ويطلق عليها اسم القوة الدافعة الكهربائية العكسية (Ed) . وتعطى قيمة هذه القوة الدافعة الكهربائية العكسية حسب المعادلة

$$Ed = K_e \Phi N$$

حيث K_e : ثابت Φ : الفيض المغناطيسي لكل قطب، N : سرعة دوران الملف

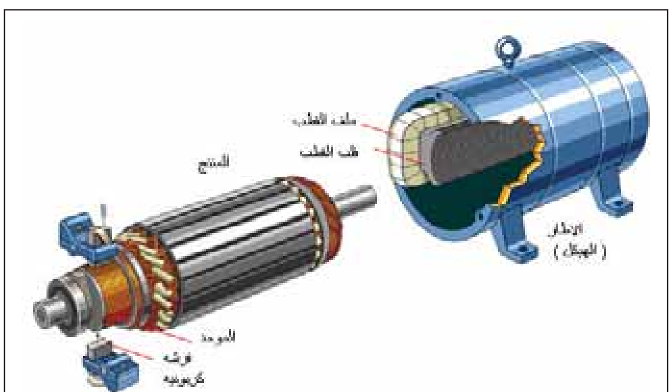
ويتضح من المعادلة أن القوة الدافعة الكهربائية العكسية تتناسب تناسبا طرديا مع كل من سرعة دوران الملف والفيض المغناطيسي، وتكون قيمتها مساوية للصفر عند بدء دوران المحرك .

نشاط : تأكد من قطبية القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المحرك البسيط باستعمال قاعدة اليد اليمنى .

سؤال : قارن بين العلاقة التي تعطي القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في المحرك وتلك التي تعطي القوة الدافعة المتولدة بالتأثير في موصل التي درستها في الجزء الأول من هذا الكتاب .

الأجزاء الرئيسية لمحركات التيار المستمر:

١ الإطار (الهيكل) (Frame) : وهو يشكل جزءا من الدارة المغناطيسية كما يعمل دعامة لحمل المحرك شكل (٢٤) .



شكل (٢٤)

٢ أقطاب المجال المغناطيسية (Field Poles) : يتكون القطب المغناطيسي في محرك التيار المستمر إما من مغناطيس طبيعي، أو من قلب وملف . وفي الحالة الثانية يصنع القلب من صفائح من مواد مغناطيسية تضغط وتبرشم مع بعضها البعض

لتقليل الخسائر الاعصارية في وجه القلب، ويصنع وجه القلب عادة على شكل قوس دائرة يبرز من الجانبين وذلك لتوزيع الفيض المغناطيسي بشكل منتظم على محيط المنتج من جهة ولحفظ ملفات الأقطاب من جهة أخرى . أما ملف القطب فيتكون من سلك نحاسي معزول يلف قبل تركيبه على هيكل له نفس أبعاد قلب القطب، ويدهن بمركب عازل خاص ليحفظ شكله، ثم يركب حول القلب بعد عزل القلب عن الملفات .

٣ أقطاب التوحيد (Commutating Poles) : وتستخدم لمنع حدوث شرر على الموحد ، وتثبت على الإطار بين الأقطاب الرئيسية وعددها يساوي عدد الأقطاب الرئيسية .

٤ المنتج (Armature) : وهو الجزء المتحرك الذي تتولد الحركة في محرك التيار المستمر . وهو يشتمل على قلب من الحديد يحمل الملفات التي تنتهي بالموحد . ويصنع القلب من رقائق رقيقة دائرية بها أخاديد، وتجمع هذه الرقائق وتضغط معا حول محور المحرك لتشكل اسطوانة بها مجار مستقيمة لتحتوي ملفات المنتج .

٥ الموحد : وهو عبارة عن اسطوانة تركب على عمود المحرك، وتتكون من عدد من القضبان النحاسية المعزولة عن بعضها البعض بواسطة شرائح من المايكا، ويتم توصيل أطراف ملفات المنتج بأطراف قضبان الموحد .

٦ الفرش (الفحمات) (Brushes) : وهي تصنع من الكربون الممزوج بكمية من النحاس لتحسين توصيله للتيار الكهربائي . ويمتاز الكربون بسهولة توصيله للتيار الكهربائي كما انه طري وبذلك لا يؤثر على قضبان الموحد . ويتم التحكم بالضغط الواقع على الفرش بواسطة زمبركات ، ويجب أن يكون هذا الضغط مناسبا وبالقدر الكافي فقط . فزيادة الضغط يؤدي إلى تولد الحرارة نتيجة الاحتكاك وكذلك تآكل الفرش بسرعة ، أما انخفاض الضغط فيؤدي إلى تولد الشرر بين الفرش والموحد، وبالتالي تآكل وتلف الفرش . وتعمل الفرش على نقل التيار من المصدر إلى الموحد ومنه إلى ملفات المنتج .

٧ مروحة التبريد : والغرض منها هو دفع الهواء داخل المحرك لتبريد الملفات وتركب على محور المحرك من الجهة المقابلة للموحد .

٨ الغطاءان الجانبيان : ويثبت الغطاءان الجانبيان مع الإطار بواسطة براغي، ويحمل الغطاءان المنتج بين الأقطاب بحيث يبقى المنتج على بعد متساوٍ من الأقطاب . ويحتوي الغطاءان على كرسي تحميل (بيل) يدور فيهما عمود المنتج .

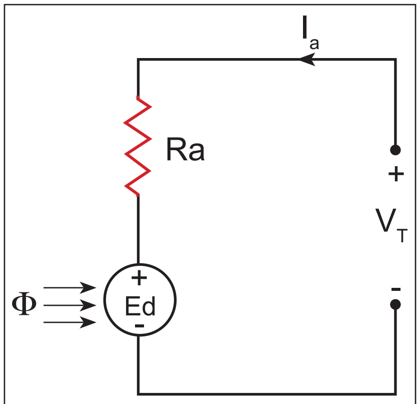
الدارة الكهربائية المكافئة والعزم والسرعة في محرك التيار المستمر:

الدارة المكافئة:

يتم تمثيل منتج محرك التيار المستمر على شكل مقاومة تمثل مقاومة ملفات المنتج (وهي عادة ذات قيمة قليلة) ومصدر جهد يمثل القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في ملفات المنتج نتيجة دوران المنتج في

المجال المغناطيسي للمحرك . ويبين الشكل (٢٥) الدارة المكافئة لمحرك تيار مستمر ذو مغناطيس دائم . من الشكل (٢٥)

$$V_t = I_a R_a + E_d$$



شكل (٢٥)

القدرة في محركات التيار المستمر

يقوم المحرك بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية ، وبشكل عام .

القدرة الكهربائية الداخلة = القدرة الميكانيكية المتولدة في المنتج + الخسائر الكهربائية (النحاسية) في ملفات المنتج . أي : $I_a . R_a + E_d . I_a = V_t . I_a$

فإذا كانت N : عدد دورات المحرك في الدقيقه ، فان السرعة الزاوية للمحرك تساوي :

$$\omega = 2\pi N /60$$

وتعطى القدرة الميكانيكية المتولدة على محور المحرك بالعلاقة :

القدرة الميكانيكية المتولدة = $Td . \omega$ حيث Td : العزم المتولد

$$= 2\pi Td N/60$$

ولكن القدرة الكهربائية الداخلة للمنتج والمتحولة الى قدرة ميكانيكية = $Ed . Ia$ اذن

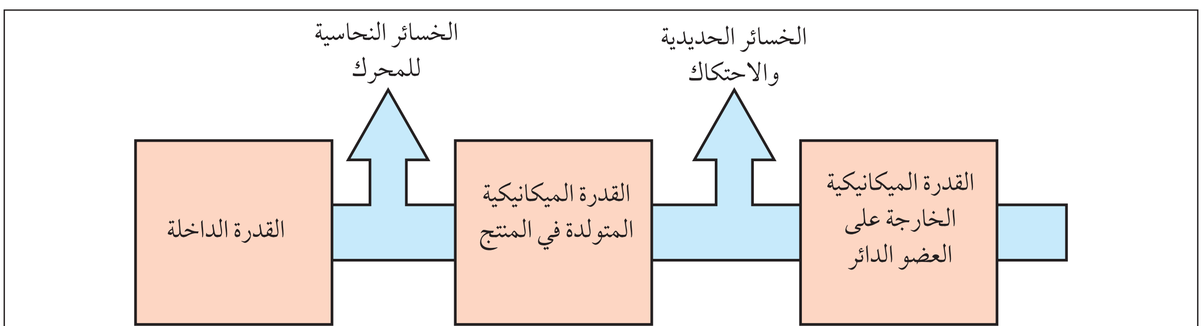
$$Ed . Ia = 2\pi Td N/ 60$$

بتعويض قيمة Ed من المعادلة : $Ed = Ke\Phi N$

$$Td = Kt \Phi Ia$$

أي أن عزم المحرك يتناسب تناسبا طرديا مع كل من تيار المنتج والفيض المغناطيسي .

ويبين الشكل (٢٦) تدفق أو انسياب القدرة في محرك التيار المستمر بشكل عام . ويتضح من الشكل أن جزءاً من العزم المتولد في المنتج يضيع لتغذية جزء من خسائر المحرك كالاحتكاك .



شكل (٢٦)

وتكون العلاقة بين القدرة الداخلة والقدرة الخارجة

$$\eta = Pout / Pin$$

حيث η: معامل كفاءة المحرك

Pout : القدرة الميكانيكية الخارجة

Pin : القدرة الكهربائية الداخلة

مثال (١):

محرك تيار مستمر يسحب تيارا مقداره (10) أمبير من مصدر جهد مستمر (180) فولت . فإذا كانت مجموع الخسائر في المحرك (300) واط . وكانت سرعة المحرك 1000 دوره/ الدقيقه . احسب مقدار العزم الناتج .

الحل :

القدرة الكهربائية الداخلة = $Vt . Ia = 10 * 180 = 1800$ واط

القدرة الميكانيكية = القدرة الكهربائية الداخلة – الخسائر الكهربائية

$= 1800 - 300 = 1500$

القدرة الميكانيكية = $T . \omega$

$1500 = T * (2 \pi * 1000/60)$

$T = 14.33$ نيوتن . م

١-٣-٣ :السرعة (Speed) في محرك التيار المستمر :

في محرك التيار المباشر أعلاه

$$V_t = E_d + I_a R_a$$

ومنها $E_d = V_t - I_a R_a$

ولكن $E_d = K_e \Phi N$

إذن $K_e \Phi N = V_t - I_a R_a$

وبالتالي $N = (V_t - I_a R_a) / K_e \Phi$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة السرعة وهي مهمة جدا، حيث أنها تبين أن سرعة محركات التيار المستمر تتناسب طرديا مع الجهد على طرفي المنتج وعكسيا مع الفيض المغناطيسي للأقطاب

أنواع محركات التيار المستمر :

تقسم محركات التيار المستمر حسب تركيبها الداخلي إلى ثلاثة أنواع :

١ محرك تيار مستمر ذو مغناطيس دائم . (permanent Magnet DC Motor)

٢ محرك تيار مستمر ذو أقطاب ملفوفة . (Wound Field DC motor)

٣ محرك تيار مستمر بموحد الكتروني (محرك تيار مستمر بدون فرش) Brushless Dc motor وتقسم

محركات التيار المستمر ذات الأقطاب الملفوفة تبعا لطريقة توصيل ملفات الأقطاب مع ملفات المنتج، حيث يمتاز كل محرك منها بخصائص مختلفة للعزم والسرعة ، إلى الأنواع التالية :

١ محرك التوازي . (Shunt motor)

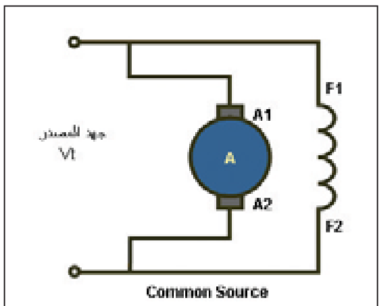
٢ محرك التوالي . (Series Motor)

٣ المحرك المركب . (Compound Motor)

٤ محرك تيار مستمر ذو تغذية منفصلة . (Seperately Excited DC Motor)

محرك التوازي:

يتم في هذا المحرك توصيل ملفات الأقطاب على التوازي مع المنتج شكل (٢٧) . وتتكون ملفات الأقطاب من عدد كبير من اللفات من أسلاك بمساحة مقطع قليلة . الخاصية الأساسية في محرك التوازي أن الفيض المغناطيسي للأقطاب (Φ) يبقى ثابتا طالما بقي جهد المصدر ثابتا وذلك بسبب ثبات قيمة التيار المار في الأقطاب .



شكل (٢٧)

وبالرجوع إلى معادلة السرعة $N = (V_t - I_a R_a) / K_e \Phi$

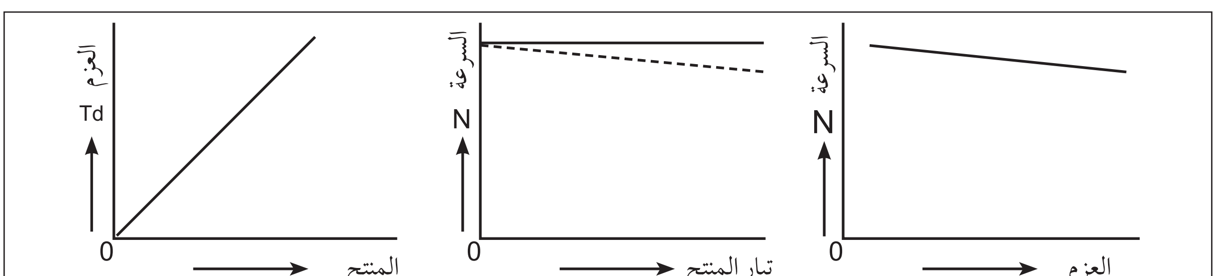
فانه بزيادة الحمل على المحرك ، أي زيادة تيار المنتج (Ia) فان هبوط الجهد على مقاومة المنتج القليلة مع ثبات Φ يؤدي إلى هبوط سرعة المحرك بشكل بسيط أي أن السرعة تبقى ثابتة نسبيا .

(في الواقع يقل الفيض المغناطيسي Φ بزيادة Ia قليلا مما يساعد في ثبات سرعة المحرك)

وبالرجوع إلى معادلة العزم $T_d = K_t \Phi I_a$

فانه وبزيادة الحمل على المحرك ، أي زيادة تيار المنتج (Ia) فان العزم المتولد في المحرك سوف يزداد خطيا نظرا لثبات الفيض المغناطيسي Φ

أما بالنسبة لعلاقة السرعة مع العزم، فإنه ومما سبق فإن السرعة تقل نسبيا بزيادة العزم على المحرك . يبين الشكل (٢٨) العلاقة بين كل من الحمل (تيار المنتج) مع السرعة والعزم .

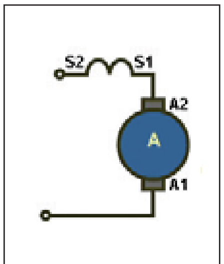


شكل (٢٨)

ويستخدم محرك التوازي في التطبيقات التي تتطلب سرعة ثابتة نسبيا مع تغيرات الحمل مثل الآلات، المخارط، آلات الغزل والنسيج ولا يستخدم هذا المحرك مع الأحمال التي تتطلب عزم بدء عال .

محرك التوالي:

يشبه محرك التوالي محرك التوازي في تركيبه فيما عدا أن ملفات الأقطاب فيه موصولة على التوالي مع المنتج شكل (٢٩) . وتتكون ملفات الأقطاب من عدة لفات قليلة من سلك ذو مساحة مقطع كافية لتحمل تيار المنتج . الخاصية الأساسية في محرك التوالي أن الفيض المغناطيسي للأقطاب Φ يعتمد في قيمته على تيار المنتج ، حيث تزيد قيمة Φ بزيادة I_a (أو الحمل) في المحرك وتنقص بنقصانه طالما أن القلب في الأقطاب لم يصل إلى حالة التشبع المغناطيسي حيث تثبت قيمة Φ عندئذ .



شكل (٢٩)

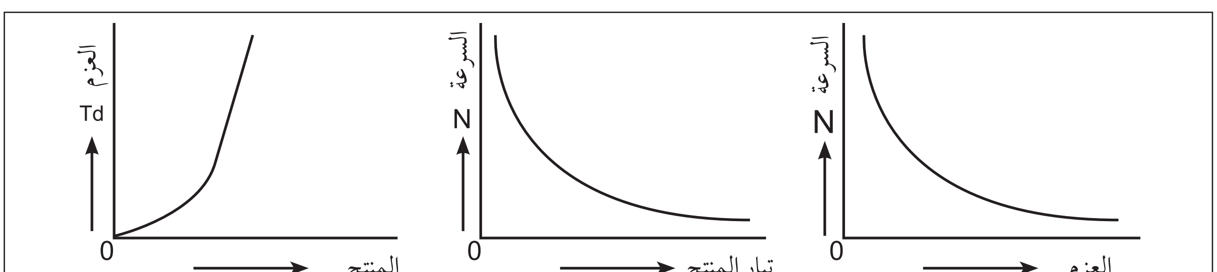
وبالرجوع إلى معادلة السرعة $N = (V_t - I_aR_a) / K_e\Phi$

نجد انه وبزيادة الحمل على المحرك يزداد تيار المنتج وبالتالي تزيد قيمة Φ مما يسبب انخفاض سرعة دوران المحرك حتى تصل قيمة Φ إلى حالة التشبع المغناطيسي ، حيث تثبت قيمة سرعة المحرك نوعا ما .

وبالرجوع إلى معادلة العزم $T_d = K_t \Phi I_a$

نجد انه وبزيادة الحمل فان العزم يصبح متناسبا مع مربع تيار المنتج ، وذلك طالما لم تصل قيمة Φ إلى حالة التشبع المغناطيسي ، حيث يصبح العزم متناسبا خطيا مع تيار المنتج أو الحمل .

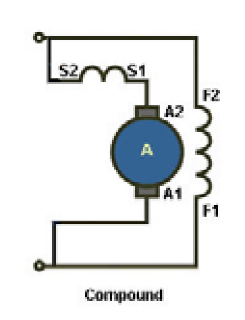
ومن علاقة السرعة مع تيار المنتج وعلاقة العزم مع تيار المنتج ، فان علاقة العزم مع السرعة تكون كما في الشكل (٣٠) من جهة أخرى ، إذا عمل محرك التوالي عند حمل قليل أو بدون حمل فإن تيار الحمل وبالتالي الفيض المغناطيسي Φ يكون قليلا مما يسبب دوران المحرك بسرعة عالية . ومع زيادة سرعة دوران المحرك تزداد القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة على طرفي المنتج مما يسبب نقصان تيار المنتج وبالتالي نقصان قيمة Φ وازدياد سرعة المحرك إلى قيم يمكن أن تؤدي إلى تفكك أجزاء المحرك وتناثرها ، وخصوصا إذا كانت قدرة المحرك عالية . ولذلك يجب الاهتمام بتوصيل الأحمال بشكل مباشر مع محرك التوالي لتجنب تشغيلها بدون حمل .



شكل (٣٠)

ويستخدم محرك التوالي في التطبيقات التي تتطلب عزم بدء عال مثل محرك بدء تشغيل السيارة، الروافع والقطار الكهربائي .

المحرك المركب:



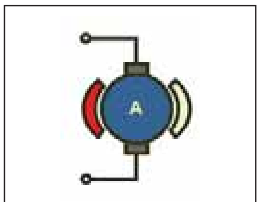
شكل (٣١)

يحتوي هذا المحرك على مجموعتين من ملفات الأقطاب : الأولى موصولة على التوالي مع المنتج وتكون لفاتها قليلة وموصلاتها سميكة ، والثانية موصولة على التوازي مع المنتج وتكون لفاتها كثيرة العدد وموصلاتها رفيعة، وهي تعطي معظم الفيض المغناطيسي كما في الشكل (٣١).

وعادة يوصل ملف التوالي بحيث يساعد الفيض المغناطيسي الناتج عنة الفيض الناتج من ملف التوازي (محرك مركب متشابه). وتعطي هذه التوصيلة خواص كل من محرك التوالي ومحرك التوازي ، حيث يكون عزم البدء عاليا وهي خاصية محرك التوالي ، وكذلك يمكن تشغيل المحرك بدون حمل مع عدم زيادة سرعة المحرك لدرجة خطرة كما في محرك التوالي . وعند تحميل المحرك يكون العزم المتولد أعلى من محرك التوازي، ولكن بانخفاض بالسرعة عن محرك التوازي يمكن احتمالة في بعض التطبيقات مثل آلات التثقيب ، المصاعد وآلات الطباعة وآلات الدرفلة .

نشاط : ابحث عن خواص المحرك المركب عند توصيل ملف التوالي بحيث يعاكس الفيض المغناطيسي الناتج عنة الفيض الناتج من ملف التوازي (محرك مركب متباين) .

محرك تيار مستمر ذو مغناطيس دائم :



شكل (٣٢)

تستخدم في هذا المحرك مغناطيسات دائمة لتوليد المجال المغناطيسي للمحرك بدل ملفات الأقطاب في المحركات ذات الأقطاب الملفوفة شكل (٣٢). ويعطي هذا ميزة توفير المساحة والقدرة التي تستهلكها ملفات الأقطاب، بالإضافة إلى ضمان عدم زيادة سرعة المحرك إلى درجة خطرة عند انقطاع تيار الأقطاب. يكون العزم في هذا المحرك متناسبا خطيا مع الحمل (تيار المنتج) . وإذا تم تصميم المنتج لتحمل تيارات عالية ، فمن الممكن الحصول على عزم بدء وعزم تشغيل عاليين . وتكون سرعة المحرك ثابتة تقريبا مع الحمل . وتشبه خصائص هذا المحرك خصائص محرك التوازي .

محرك تيار مستمر ذو تغذية منفصلة :

يتم تغذية كل من المنتج وملفات الأقطاب في هذا المحرك من مصدري تغذية منفصلين بجهدين قد يكونان متساويين أو مختلفين . وتشبه خصائص السرعة والعزم لهذا المحرك خصائص محرك التوازي .

التحكم بسرعة محركات التيار المستمر :(Speed control of DC motors)

بالرجوع إلى معادلة السرعة لمحركات التيار المستمر $N = (V_t - I_a R_a) / K_e \Phi$

نجد أنه يمكن تغيير سرعة محرك التيار المستمر بإحدى الطرق التالية :

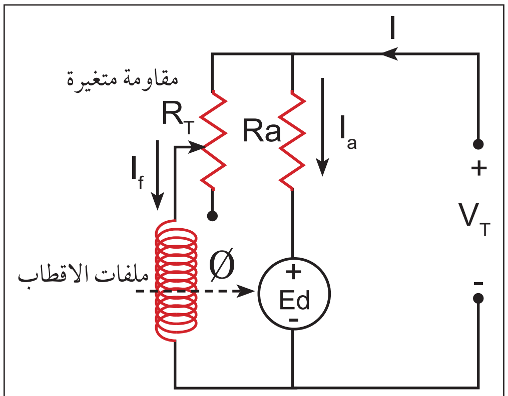
١ تغيير الفيض المغناطيسي Φ وذلك بتغيير تيار الأقطاب .

٢ تغيير مقاومة تيار المنتج .

٣ تغيير الجهد على طرفي المنتج .

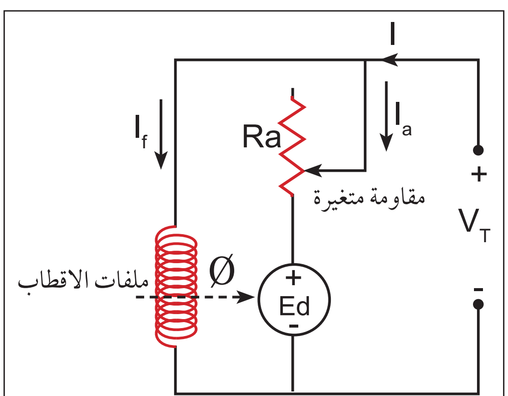
وفيما يلي شرح مختصر لكل طريقة منها :

أ- تغيير السرعة بواسطة تغيير الفيض المغناطيسي : عند تثبيت جهد المنتج فان سرعة المحرك تتناسب عكسيا مع الفيض المغناطيسي Φ ، أي أنه إذا زدنا Φ فإن سرعة المحرك تقل والعكس صحيح . وبما أننا لا نستطيع زيادة تيار الأقطاب عن القيمة المقررة، لذلك تستعمل هذه الطريقة عند الحاجة لزيادة سرعة المحرك عن السرعة الاسمية ، وهي السرعة المقررة عند الجهد المقرر والحمل المقرر . ويتم ذلك عن طريق توصيل مقاومة متغيرة على التوالي مع ملف الأقطاب شكل (٣٣)، أو تغذية ملف الأقطاب بواسطة دائرة الكترونية تعمل على التحكم بتيار الأقطاب وبالتالي الفيض المغناطيسيΦ وذلك في محرك التوازي أو محرك التغذية المنفصلة . أما في محرك التوالي فيمكن التحكم بسرعة المحرك عن طريق توصيل مقاومة صغيرة على التوازي مع ملف الأقطاب . وعند زيادة سرعة المحرك بهذه الطريقة يجب الانتباه أن عزم المحرك يجب أن يقل مع زيادة السرعة . أي أن المحرك سوف يعمل بقدرة ثابتة في مدى السرعة بين السرعة المقررة والسرعة القصوى المسموحة .



شكل (٣٣)

ب- تغيير السرعة بواسطة تغيير مقاومة المنتج : وذلك عن طريق توصيل مقاومة على التوالي مع المنتج شكل (٣٤) . عند توصيل مصدر الجهد ومرور التيار في المنتج فإن هبوط الجهد على طرفي المقاومة يؤدي إلى هبوط الجهد الواصل على طرفي المنتج، وبالتالي تقل سرعة دوران المحرك بزيادة قيمة المقاومة . ومن مساوئ هذه الطريقة الحاجة إلى مقاومة ذات قدرة عالية بالإضافة إلى القدرة الضائعة في المقاومة على شكل حرارة .



شكل (٣٤)

جـ- تغيير السرعة بواسطة تغيير الجهد على طرفي المنتج، وذلك عن طريق توصيل جهد مستمر متغير يمكن الحصول علية من مولد جهد مستمر أو من دارات الكترونية مثل الموحدات المحكومة وغيرها إلى طرفي المنتج . وتتناسب سرعة المحرك تناسبا طرديا مع الجهد الواصل على طرفي المنتج . وبما أنه لا يمكن زيادة جهد المصدر عن الجهد المقرر للمنتج، فان هذه الطريقة تستعمل لتخفيض سرعة دوران المحرك . ويكون عزم المحرك ثابتا في مدى تغيير السرعة من صفر إلى السرعة الاسمية . بينما تتغير قدرة المحرك حيث تزداد بزيادة السرعة .

إقلاع (بدء التشغيل) (Starting) لمحركات التيار المستمر:

عند توصيل مصدر الجهد إلى المحرك ، فان عزم القصور الذاتي للمحرك والحمل الموصول به يمنع حركة الاثنين لحظيا . وكما نعلم يعطى التيار المار بمنتج محرك التيار المستمر بالعلاقة :

$$Ia = Vt - Ed /Ra$$

عند بدء التشغيل فان سرعة المحرك = صفر ، وبالتالي فان القوة الدافعة الكهربائية العكسية Ed والتي تتناسب مع سرعة المحرك = صفر . إذن تيار البدء يساوي : $Ia = Vt / Ra$

ولتقليل الخسائر في ملفات المنتج وزيادة كفاءة المحرك ، يتم في العادة لف موصلات المحرك بحيث بحيث تكون مقاومة المنتج قليلة . وبالتالي فان تيار البدء يكون عاليا جدا ، وهذا التيار العالي والذي يساوي عدة أضعاف تيار الحمل الكامل للمحرك يمكن أن يؤدي إلى مخاطر إتلاف ملفات المنتج وإتلاف الموحد والفرش .

ولذلك يجب تزويد المحرك بوسيلة لتخفيض تيار البدء إلى قيمة معقولة من تيار الحمل الكامل وإحدى الوسائل هي توصيل مقاومة على التوالي مع المنتج خلال فترة البدء ، مع تخفيض هذه المقاومة كلما زادت سرعة المنتج حتى تصبح قيمتها تساوي صفرا . ويتم تنفيذ هذه الطريقة إما يدويا كما في البادئات اليدوية أو اوتوماتيكيا بواسطة المرحلات والتايمرات ، أو بادئات حركه الكترونية تقوم بالتحكم بتيار البدء وعزم البدء عن طريق تغيير قيمة الجهد المطبق على المحرك بطريقة الكترونية .

عكس اتجاه دوران محركات التيار المستمر :

من أجل عكس اتجاه دوران محرك التيار المستمر ، يجب إما :

١ عكس طرفي توصيل المنتج .

٢ عكس كل من طرفي توصيل ملف التوالي وملف التوازي للأقطاب إن وجدا (المحرك المركب) أو احدهما إن وجد لوحده (محرك التوالي ومحرك التوازي) .

ويجب الانتباه إلى عدم عكس أطراف توصيل المنتج وملفات الأقطاب معا ، لأن ذلك سيؤدي إلى استمرار دوران المحرك بنفس الاتجاه . ويتم اعتبار أقطاب التوحيد إن وجدت كجزء من المنتج .

عيوب محركات التيار المستمر :

١ تكلفته العالية مقارنة بمحركات التيار المتغير .

٢ تركيبه معقد من حيث وجود الفحمات والموحد وملفات المنتج .

٣ صيانته وإصلاحه مكلف .

٤ بما أن مصدر الطاقة هو تيار متغير ، فانه لتشغيل محرك التيار المستمر نحتاج إلى وسيلة لتحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر مثل الموحدات والموحدات المحكومة .

ونظرا للتقدم الحاصل على أنظمة التحكم و القيادة الالكترونية لمحركات التيار المتغير ، فقد قل استخدام هذة المحركات في التطبيقات الصناعية .

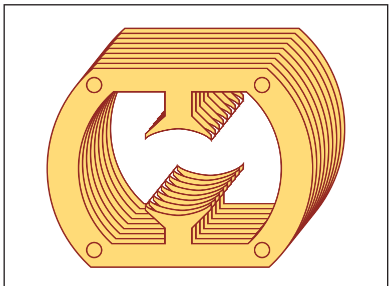
(٣) المحرك العام (Universal motor)

يدعى هذا المحرك بالمحرك العام ، لأنه يعمل على التيار المستمر والتيار المتغير على حد سواء . ويشبه في تركيبه وخواصه محرك التوالي للتيار المستمر مع التركيز على تصنيع كل من قلب العضو الساكن والعضو الدائر من صفائح الصلب المغناطيسي المعزولة عن بعضها، وذلك لتقليل الخسائر الإعصارية والهستيرية في حالة تشغيله على التيار المتغير . ويتكون هذا المحرك من :

١ العضو الساكن : وهو يصنع على شكلين :

ا- العضو الساكن ذو الأقطاب البارزة : ويشبه في تركيبه العضو الساكن لمحرك توالي صغير للتيار المستمر . ويوجد عادة في المحركات المنخفضة القدرة شكل (٣٥) .

ب- العضو الساكن ذو الملفات الموزعة : ويوجد فيه مجار مثل العضو الساكن في المحرك الحثي حيث يتم لف ملفات المحرك بها .


شكل (٣٥)

٢ العضو الدائر : وهو يشبه العضو الدائر لمنتج محرك تيار مستمر .

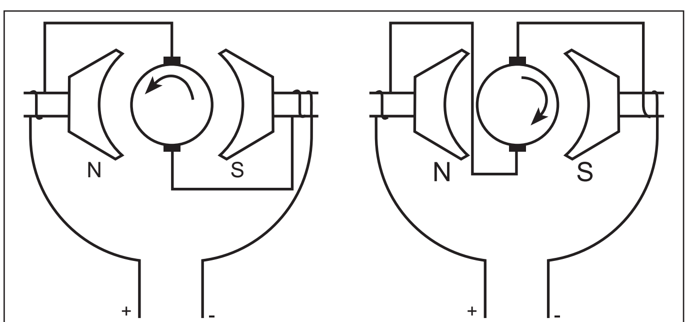
٣ الموحد والفرش : حيث توصل ملفات العضو الدائر إلى الموحد وتقوم الفرش بتوصيل الموحد مع ملفات العضو الساكن وبالتالي مصدر التغذية .

مبدأ العمل : يمر التيار نفسه في ملفات العضو الساكن والمنتج . ونتيجة لتفاعل الفيض المغناطيسي الناتج من كل منهما يتولد عزم يؤدي إلى دوران المنتج سواء كان التيار مستمرا أو متغيرا . وعند تشغيله على التيار المتناوب تكون سرعته اقل منها على التيار المستمر بسبب وجود الممانعة للملفات الناتجة عن تردد التيار .

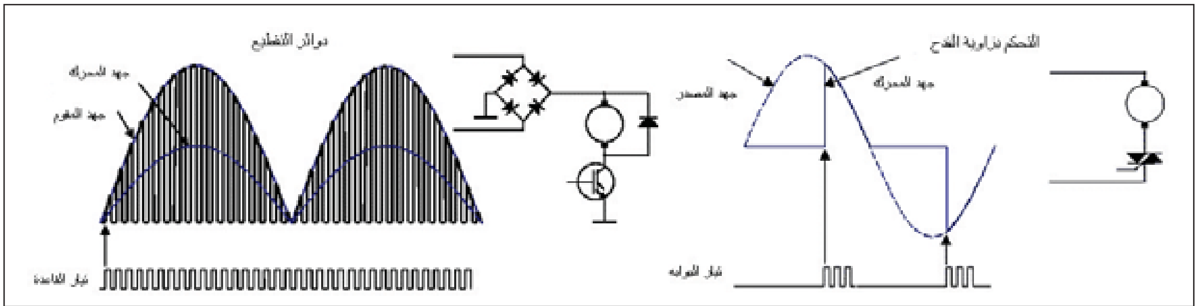
ويمتاز المحرك العام بعزم بدء كبير ولكن بانخفاض سرعته بزيادة الحمل كما في محرك التوالي . وتتراوح سرعته مابين 5500 - 15000 دوره في الدقيقة . ومن ميزاته أيضا إمكانية التحكم بسرعته بسهوله . ومن عيوبه حدوث الشرر بين الفرش والموحد عند زيادة الحمل مما يسبب تآكل الفرش بسرعة .

ويتم عكس اتجاه دوران هذا المحرك بعكس اتجاه التيار إما في ملفات الأقطاب وإما في المنتج ، ويتم ذلك عادة بتبديل السلكين المتصلين بحاملي الفرش شكل (٣٦).

ويتم التحكم بسرعة هذا المحرك عادة بتغيير الجهد على طرفيه بواسطة مقاومة متغيره على التوالي أو ملفات أقطاب عليها نقاط توصيل . ويشيع الآن استخدام الدارات الالكترونية باستخدام عناصر مثل الترانزستور والثايرستور والترياك للتحكم بسرعة هذه المحركات شكل (٣٧).



شكل (٣٥)

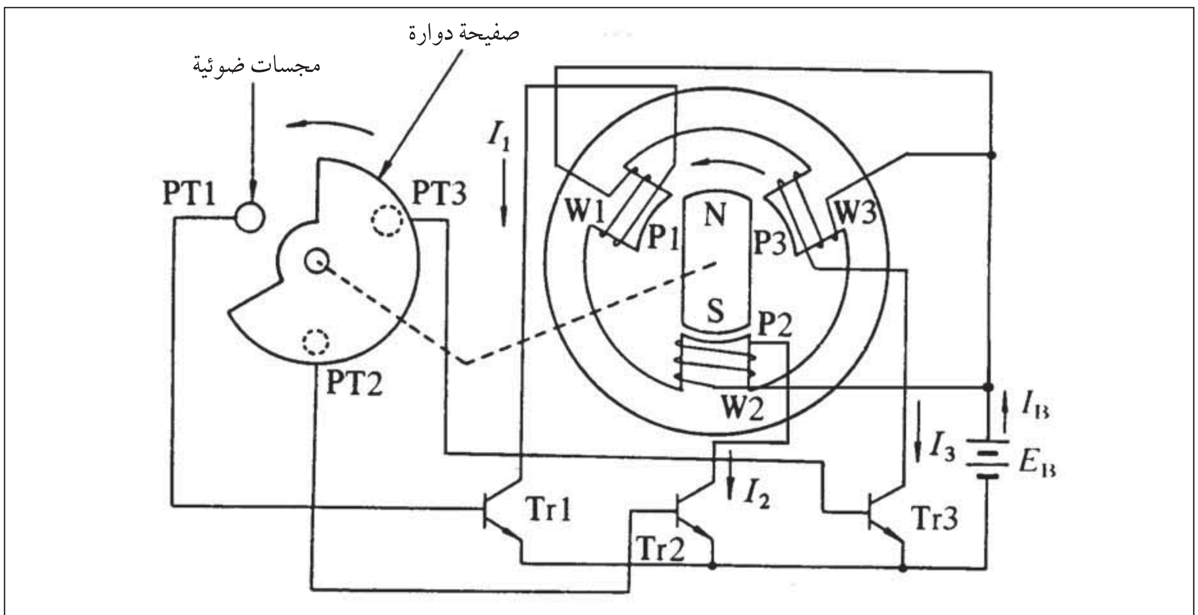


(٣٧)

محرك التيار المستمر بموحد الكتروني (Brushless DC Motor)

يتركب العضو الساكن من ملفات ثلاثية الأوجه، أما العضو الدائر فيثبت عليه أقطاب من مغانط دائمة تدور مع دورانه. وبهذا فان هذا المحرك هو عمليا عكس محرك التيار المستمر العادي، حيث يدور المجال المغناطيسي بينما الملفات ثابته في العضو الثابت. وفي محرك التيار المستمر العادي يوجد موحد يقوم بعكس اتجاه التيار في ملفات المنتج، أما في هذا المحرك فان عملية التحكم باتجاه التيار في ملفات العضو الثابت يتم التحكم بها الكترونيا بالتزامن مع وضع العضو الدائر. ولهذا فان هذا المحرك يحتوي في العادة على مجسات لقياس موضع العضو الدائر والتي قد تكون مجسات ضوئية أو مجسات مغناطيسية (مجسات هال) .

ويمكن شرح مبدأ عمل هذا المحرك بالاستعانة بالشكل (٣٨) .



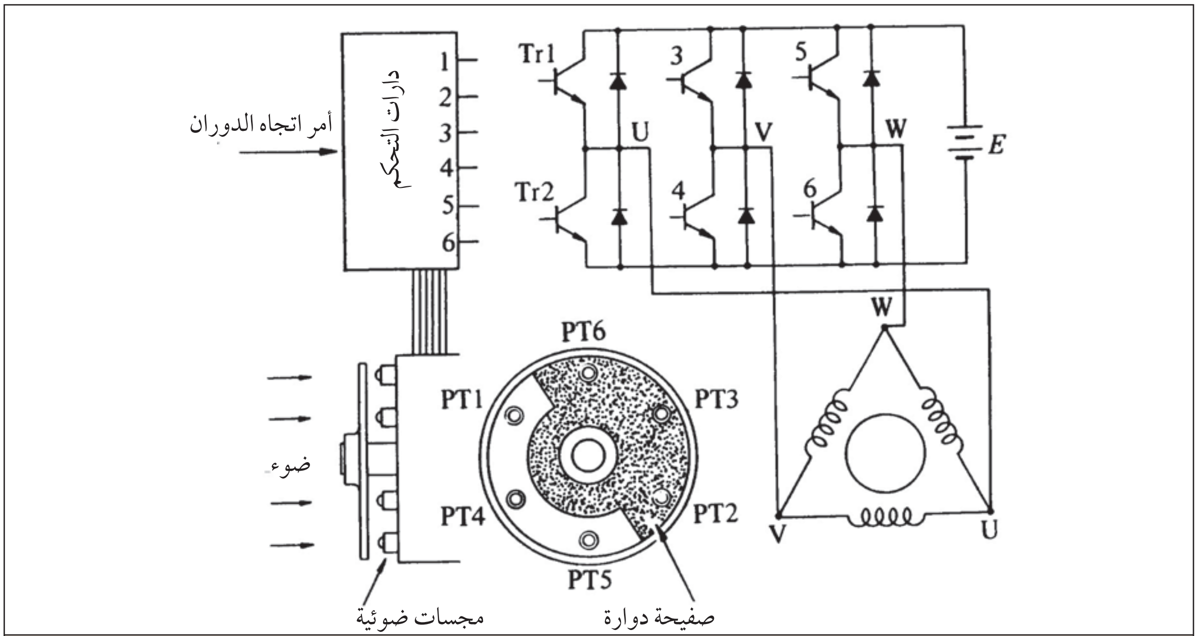
(٣٨)

حيث يبين الملفات الثلاثة للعضو الساكن بالإضافة إلى المجسات الثلاثة لموضع العضو الدائر والمكونة من مجسات ضوئية تعمل عند سقوط الضوء عليها وبينها ١٢٠ درجة. وهناك الصفيحة المعدنية التي تدور مع العضو الدائر والتي تمرر أو تحجب الضوء حسب وضعها (وضع العضو الدائر) .

من الشكل يتضح أن الضوء يسقط على المجس PT1 والذي بدوره يقوم بتشغيل الترانزستور Tr1 فيمر تيار

في الملف W1 مما يجعل القطب P1 قطباً جنوبياً. فينجذب العضو الدوار نحو هذا القطب بالاتجاه المرسوم (عكس عقارب الساعة) . وعندما يصبح القطب الشمالي للعضو الدائر مقابلا للقطب P1 فإن وضع الصفيحة المعدنية يتغير فتحجب المجس PT1 و PT3 فيما يسقط الضوء على المجس PT2 فيعمل الترانزستور Tr2 فيصبح القطب P2 جنوبيا فينجذب العضو الدائر نحوه فيستمر العضو الدائر في الدوران في نفس الاتجاه ، وهكذا بالنسبة للمجس PT3 والترانزستور Tr3 . وبتكرار عملية الفصل والتشغيل للترانزستورات المختلفة فإن العضو الدائر يستمر في الدوران في نفس الاتجاه .

ويمكن تشغيل المحرك بطريقة أكثر كفاءة باستخدام دارات تحكم أكثر تعقيدا ، بحيث يمر التيار في أكثر من ملف من ملفات العضو الساكن في نفس الوقت . ويتم التحكم بالجهود المطبقه على ملفات العضو الساكن، بحيث تكزن المجالات المغناطيسية للعضوين الساكن والدائر تساوي ٩٠ درجه طوال الوقت. وذلك لتوليد أقصى عزم دوراني ممكن شكل (٣٩) .



(٣٩)

ومن مميزات هذا المحرك :

١ عدم وجود فرش ، وبالتالي حاجته للصيانة قليلة .

٢ تركيبه محكم .

٣ هادئ خلال عمله .

٤ أنظف من محركات التيار المستمر العادية بسبب عدم وجود الاحتكاك والفرش .

٥ يعمل على سرعات عالية تصل إلى ٣٠٠٠٠ دوره/ دقيقه .

ويستعمل هذا المحرك في الآلات المكتبية مثل آلات الطباعة .

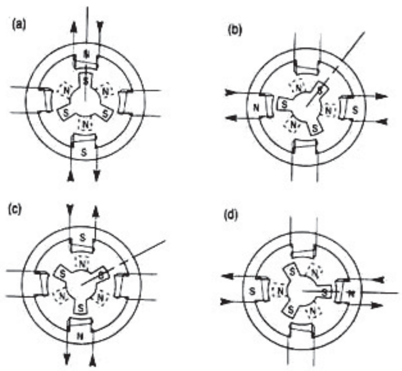
(٤) محرك الخطوه: (Step Motor)

يقوم محرك الخطوة بتحويل النبضات الكهربائية إلى ازاحات متساويه دورانية للعضو الدائر تسمى خطوات . وهذه الخطوة هي ثابتة ومحدده ومتكررة ويتم الحصول عليها بدون الحاجة إلى مجسات للتغذية العكسية . ويتم إدخال النبضات الكهربائية إلى داره للتحكم ليتم تحويلها إلى مجموعة من الإشارات الكهربائية التي يتم تطبيقها على ملفات المحرك من أجل الحصول على دوران المحرك لخطوة واحدة . ويمكن لمحركات الخطوة أن تدور في الاتجاهين وذلك حسب نمط تتابع الإشارات الكهربائية على أطراف المحرك . وتعتمد سرعة دوران محركات الخطوة على تردد النبضات، أما عدد خطوات المحرك فيعتمد على عدد النبضات الداخلة إلى وحدة التحكم، وبالتالي على عدد أنماط الاشارات المختلفة المطبقة على أطراف المحرك . وتستخدم هذة المحركات لضبط مواقع الأجسام بشكل دقيق، ولذلك فان بعض تطبيقاتها تشمل أنظمة التحكم الرقمية كالإنسان الآلي، ألات الطباعة، الآلات المكتبية، المخارط، المقاشط، وكاربوريتر السيارات الحديثة . شكل (٤٠)



شكل (٤٠)

ويتركب المحرك من عضوين رئيسيين هما : العضو الساكن والعضو الدائر . ويحتوي العضو الساكن على ملفات تتصل بمصدر الإشارات الكهربائية لتكون أقطابا مغناطيسية عند تشغيل المحرك، ويختلف عدد وطريقة لف هذه الملفات كما سنرى لاحقا . ويحتوي العضو الدائر والعضو الثابت غالبا على أسنان (أقطاب) بحيث تكون مزاحة عن بعضها بعضاً بحيث يكون عدد محدود منها متقابل تماما عند أي وضع للعضو الدائر خلال التشغيل. ومن خلال التحكم بترتيب وقطبية الإشارات على ملفات العضو الساكن يتم التحكم بحركة المحرك خطوة واحدة شكل (٤١). وكلما كان عدد هذه الأسنان (الأقطاب) أكبر كانت زاوية الخطوة التي يدور بها المحرك اقل ، أي تزداد دقة المحرك . وتختلف محركات الخطوة في تركيب العضو الدائر حيث يتم تصنيف محركات الخطوة إلى :

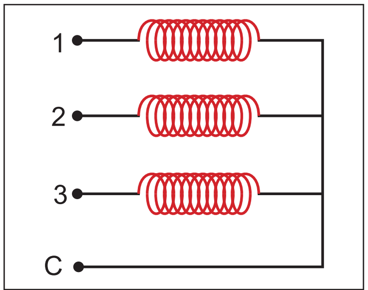


شكل (٤١)

١ محرك الخطوة ذو المغناطيس الدائم : حيث يتكون محرك الخطوة من مغناطيسات دائمة مثبته على محور الدوران ، ويتم تمييز هذا المحرك بوجود قوى جذب داخلية تمانع دورانه عند محاولة تحريكه باليد عندما يكون مفصولا عن مصدر الكهرباء .

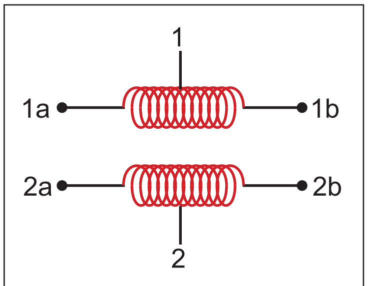
٢ محرك الخطوة ذو الإعاقة المتغيرة : يتكون العضو الدوار من أسنان مصنوعة من حديد لين . عند توصيل ملفات العضو الثابت لهذا المحرك بدارة التحكم، فإن العضو الدائر سوف يتحرك بحيث تنحاز

أسنانه نحو أقطاب العضو الثابت بحيث تقل الإعاقة المغناطيسية في طريق المجال المغناطيسي المتولد في العضو الثابت . وعن طريق تغيير الملف المتصل بمصدر التيار في العضو الثابت يتم تغيير المجال المغناطيسي المتولد، وبذلك يتحرك العضو الدائر إلى وضع جديد .



شكل (٤٢)

٣ محرك الخطوة الهجين : وهو يجمع بين النوعين المذكورين، حيث يركب على العضو الدوار مغانط طبيعية وفوقها طبقة من الحديد اللين . وهو أفضل من النوعين السابقين وأكثر انتشارا .



شكل (٤٣)

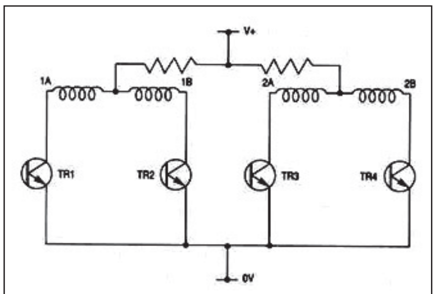
أما بالنسبة لملفات العضو الثابت في محركات الخطوة فأننا سنركز على الأنواع التالية :

١ ملفات محركات الإعاقة المتغيرة : يوجد عادة عدة ملفات متصلة بنقطة مشتركه . فإذا احتوى المحرك على ثلاثة ملفات فيكون له أربع أطراف . ويتم تشغيل المحرك بتوصيل هذه الأطراف مع المصدر على التوالي شكل (٤٢)

الملف (١) ١ • • ١ • • ....

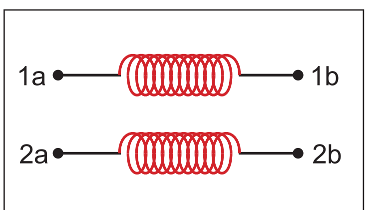
الملف (٢) • ١ • • ١ • ....

الملف (٣) • • ١ • • ١ ....



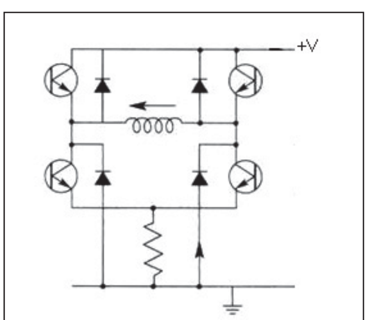
شكل (٤٤)

٢ الملفات أحادية القطبية : وسميت بهذا الاسم لأن التيار يمر في الملف الواحد باتجاه واحد فقط . وتحتوي هذه المحركات على ملفين كل منهما بنقطة وسط كما هو موضح بالشكل(٤٣)، ويمكن أن توجد هذه الملفات في محرك الخطوة ذي المغناطيس الدائم أو محرك الخطوة الهجين . ويكون عدد الأسلاك الخارجة من المحرك ٥ أسلاك أو ٦ أسلاك . ولتشغيل هذا المحرك تستخدم دارة تشغيل كما هو موضح في الشكل (٤٤).



شكل (٤٥)

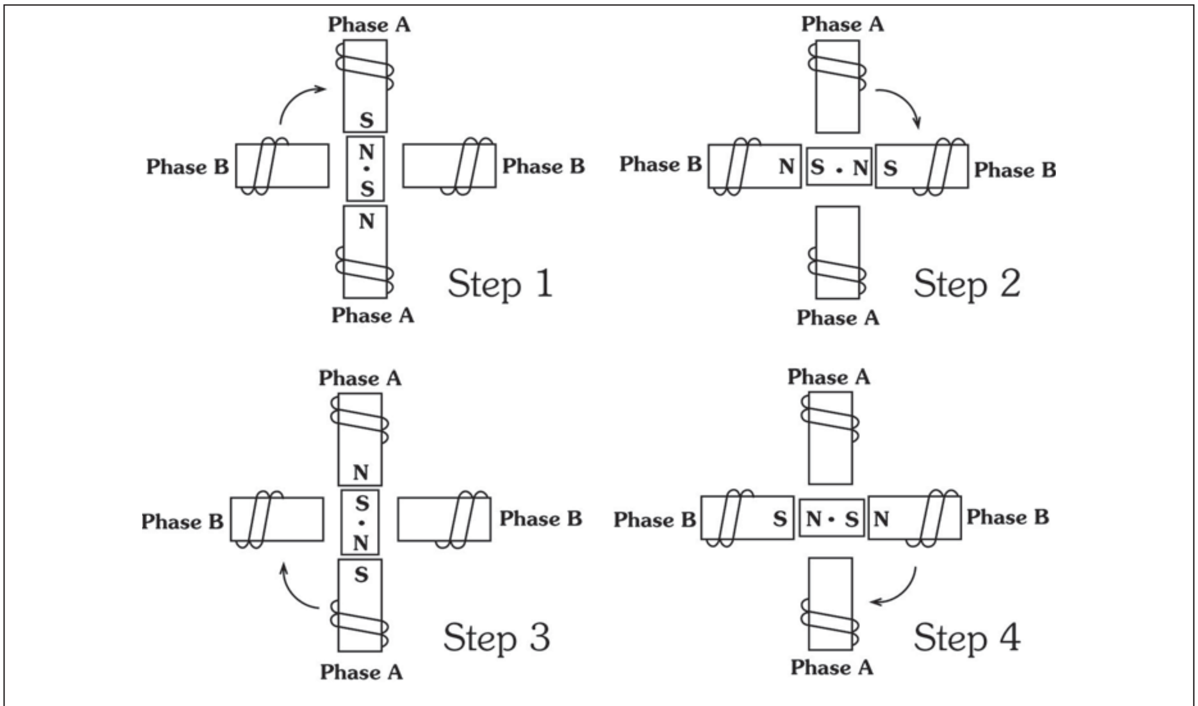
٣ الملفات ثنائية القطبية : وسميت بهذا الاسم لان التيار يمر في كل ملف بالاتجاهين . وهذه الملفات عباره عن ملفين منفصلين كما هو موضح بالشكل (٤٥). ولتشغيل هذا المحرك تستخدم دارة تشغيل كما هو موضح في الشكل (٤٦).



شكل (٤٦)

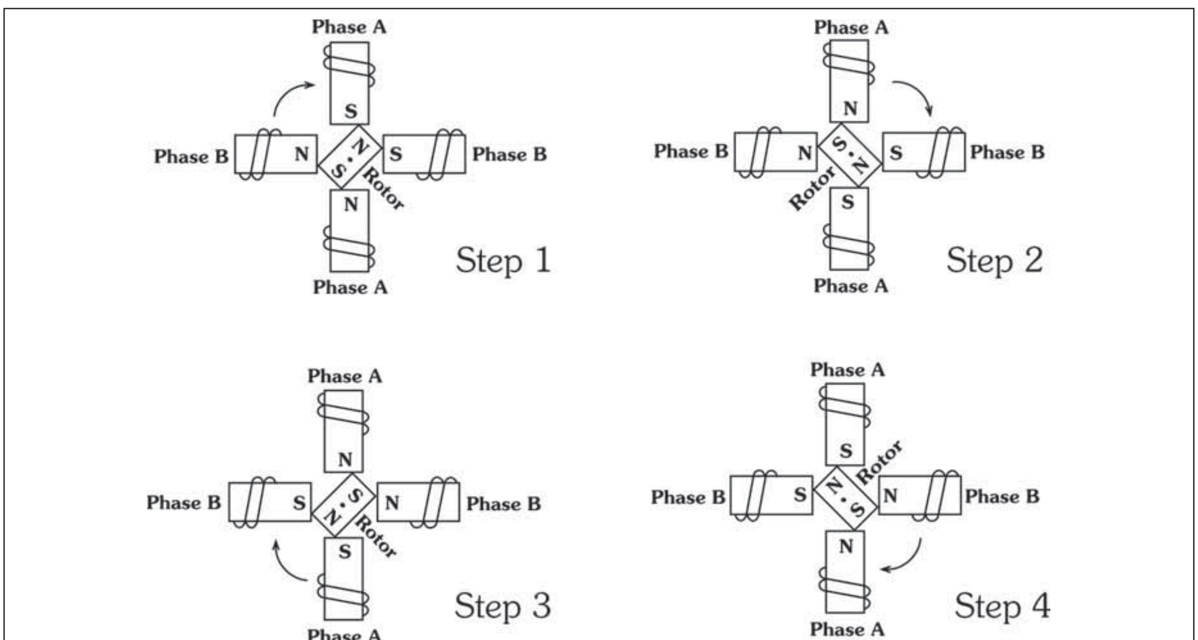
طرق تشغيل محرك الخطوه : يمكن تشغيل محركات الخطوه بعدة طرق تختلف فيما بينها من حيث دقة خطوة المحرك وعدد الملفات الموصلة بالمصدر في كل خطوه . فمن حيث دقة الخطوه يمكن تشغيل المحرك

بخطوه كامله أو نصف خطوه أو خطوات مصغره . والأشكال التالية توضح كيفية تشغيل محرك خطوة ثنائي القطبية بملفين بعدة طرق تشغيل . فالشكل (٤٧) يبين تشغيل المحرك بخطوات كاملة بحيث يكون ملف واحد متصلا بمصدر التغذية في كل لحظه .



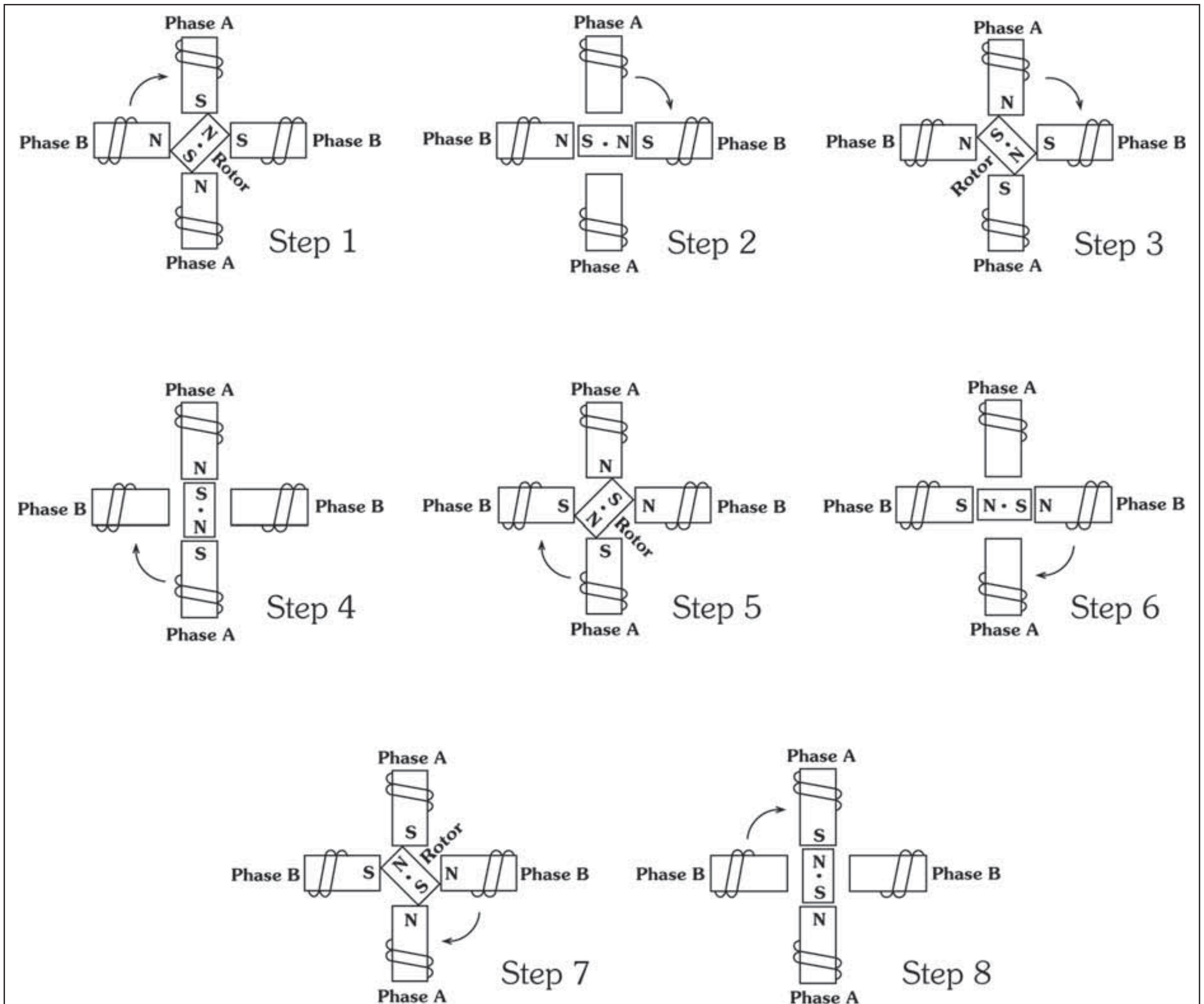
(٤٧)

أما الشكل (٤٨) يبين تشغيل المحرك بخطوات كامله بحيث يكون ملفان متصلين بمصدر التغذية، وتمتاز طريقة التشغيل هذه بان عزم المحرك يكون أعلى من طريقة التشغيل السابقه .



(٤٨)

ويبين الشكل (٤٩) تشغيل المحرك بنصف خطوة ، وكما نلاحظ فان الجهد يكون موصلا بملف واحد تارة وبالملفين تارة أخرى . ولتشغيل محركات الخطوة بخطوات مصغره ، أي أجزاء من الخطوه فيلزم دارات تحكم خاصه لتقوم بالتحكم بقيمة التيار المار في الملفات بحيث يمكن جعل العضو الدائر يميل أكثر قليلا باتجاه احد الأقطاب عندما يكون العضو الدائر واقفا بين قطبين متشابهي القطبية في العضو الثابت .



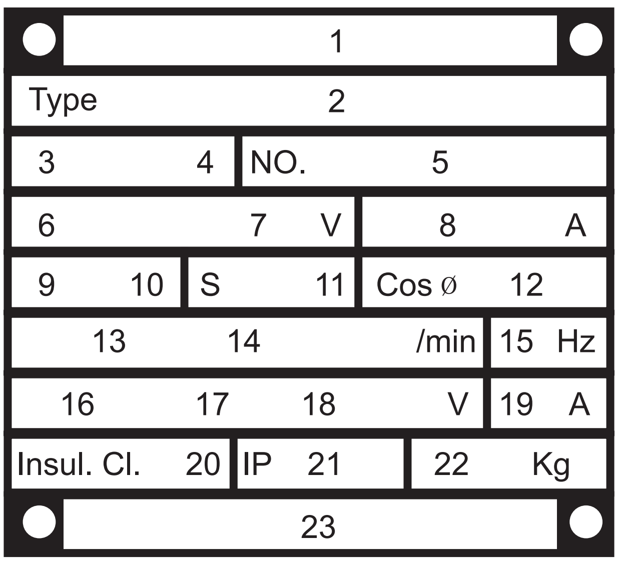
(٤٩)

لوحة بيانات المحرك :

هي لوحة مثبته على هيكل المحرك وتحتوي معلومات هامة عن المحرك . إن فهم وتفسير هذه البيانات ضروري للصيانة والتشغيل لهذا المحرك . وتعطي لوحة بيانات المحرك ظروف التشغيل الاسمية (المقررة) للمحرك كما هي مضمونة من قبل الصانع . ومن الناحية العملية فان ظروف التشغيل لا تتطابق دائما مع البيانات المدونة على لوحة المحرك . فالحمل على المحرك قد لا يساوي الحمل المقرر ، والجهد على أطراف المحرك قد يكون اقل من الجهد الاسمي وهكذا . وبالتالي فان التيار المسحوب من قبل المحرك فعلا لن يكون مطابقا للتيار المدون على لوحة بيانات المحرك . ويبين الشكل (٥٠) لوحة بيانات فارغة لمحرك (اله كهربائية) ، وفيما

يلي اهم البيانات المكتوبة في خانات اللوحة المختلفة .

1 اسم الصانع .
2 رمز ورقم الموديل .
3 نوع تيار مصدر التغذية (DC, AC) .
4 نوع الآلة (محرك ، مولد) (Motor , Generator) .
5 الرقم المتسلسل .
6 رمز توصيلة ملفات الآلة .
7 الجهد المقرر .
8 التيار المقرر .
9 القدرة المقررة.
10 وحدة قياس القدرة. واط ، كيلوواط (KW , W) .
11 دورة الخدمة .
12 معامل القدرة .
13 اتجاه الحركة .
14 السرعة المقررة دورة / دقيقة .
15 التردد المقرر .
20 درجة العزل (للملفات) .
21 درجة الحماية .
22 وزن الآلة .



(٥٠)

أسئلة الوحدة

١ أذكر الأجزاء الرئيسية لمحرك التيار المستمر موضحاً وظيفة كل جزء منها .

٢ أرسم الدارة المكافئة لمنتج محرك تيار مستمر ، وأكتب المعادلة التي تحكم عمل دارة المنتج .

٣ أكتب معاملة العزم لمحركات التيار المستمر ، واستنتج منها مستعيناً بالرسم خواص العزم لأنواع محركات التيار المستمر المختلفة .

٤ أكتب معادلة السرعة في محرك التيار المستمر ، واستنتج منها مستعيناً بالرسم خواص السرعة لأنواع محركات التيار المستمر المختلفة .

٥ أذكر الطرق المستخدمة للتحكم بسرعة محركات التيار المستمر .

٦ علل سبب ارتفاع تيار البدء في محركات التيار المستمر .

٧ أذكر ثلاثة أنواع من محركات التيار المستمر ، وارسم مخططات التوصيل الخاصة بكل منها .

٨ محرك تيار مستمر توازي 220 فولت ، مقاومة المنتج= 0.5

فإذا كان تيار الحمل الكامل يساوي 20A . احسب :

أ- القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة . ب- القدرة الداخلة إلى المحرك .

٩ محرك تيار مستمر متوازي يدور بسرعة 0051د/ د عند جهد 120 فولت ، فإذا كان التيار المسحوب من المصدر =51 أمبير وكفاءة المحرك=0.85 ومقاومة الأقطاب =120

ومقاومة المنتج= 10.1 أوم إحسب :

أ- التيار المار في المنتج . ب- القوة الدافعة العكسية المتولدة .

جـ- الخسائر في المحرك . د- العزم المتولد على العضو الدائر .

١٠ إشرح تركيب المحرك الحثي ثلاثي الأطوار ذي القفص السنجابي .

١١ إشرح مبدأ عمل المحرك الحثي ذو القفص السنجابي باختصار .

١٢ محرك حثي ٤ أقطاب ، 380 فولت ، ثلاثي الأوجه يتغذى من مصدر تردده 50هيرتز إحسب :

أ- السرعة التزامنية . ب- سرعة المحرك عند انزلاق= 0.004

١٣ محرك حثي ثلاثي الأوجه ، قدرته 55 كيلوواط ، يسب تياراً مقداره 12 أمبير عند تسغيله على الحمل الكامل من مصدر قدرة 80 فولت 50 هيرتز بمعامل قدرة =0.8 إحسب :

أ- القدرة الداخلة للمحرك .

ب- كفاءة المحرك .

جـ- عزم المحرك إذا كان يدور على سرعة 1420د/ د .

١٤ قارن بين تركيب المحرك الحثي ذي القفص السنجابي أحادي الوجه والمحرك ذي الثلاثة أوجه .

١٥ أرسم توصيلة محرك الوجه المشور واشرح عمله باختصار .

١٦ أذكر أنواع المحركات الحثية ذات المواسع (وجه واحد)وارسم التوصيل لكل منها مع شرح العمل بشكل مختصر .

١٧ إشرح تركيب المحرك ذي القطب المظلل واذكر خصائصه وتطبيقاته .

١٨ أذكر مع الشرح المختصر الأمور التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند بدء تشغيل المحركات الحثية .

١٩ أذكر شروط تنفيذ طريقة ستار-دلتا لبدء المحركات .

٢٠ أذكر طرق بدء المحركات الحثية ثلاثية الأوجه .

٢١ ما هي المميزات التي يمكن أن يوفرها بادئ الحركة الألكتروني عند استخدامه لبدء حركة محركات حثية ثلاثية الأوجه تقوم بتشغيل :

أ- سير ناقل في خط انتاج . ب- مضخة كبيرة لضخ المياه .

٢٢ أذكر طرق التحكم بسرعة المحركات الحثية .

٢٣ عدد مميزات المحرك العام واذكر عيوبه .

٢٤ كيف يمكن عكس اتجاه دوران المحرك العام؟

٢٥ اشرح تركيب محرك التيار المستمر بموحد إلكتروني مستعيناً بالرسم .

٢٦ أذكر مميزات محرك الخطوة .

٢٧ أذكر تطبيقات محرك الخطوة .

٢٨ أذكر أنواع محركات الخطوة حسب العضو الدائر .

٢٩ أذكر أنواع الملفات المستخدمة في العضو الساكن في محركات الخطوة .

٣٠ أذكر طرق تشغيل محرك الخطوة من ناحية دقة الخطوات .

٣١ اختر الإجابة الصحيحة مما يلي :

١) يتم الحصول على عزم باتجاه واحد في محرك التيار المستمر بمساعدة :

أ- الفرش . ب- الموحد .

جـ- الغطاءان الجانبيان . د- أ+ب

٢) القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في محركات التيار المستمر :

أ- غالباً أعلى من فرق جهد المصدر . ب- تساعد (في نفس اتجاه)جهد المصدر .

جـ- تتناسب طردياً مع سرعة المحرك . د- تتناسب طردياً مع الحمل .

٣) القدرة الميكانيكية المتولدة في منتج محركات التيار المستمر تساوي :

أ- تيار المنتج مضروباً بالقوة الدافعة الكهربائية العكسية .

ب- القدرة الداخلة مطروحاً منها الخسائر .

جـ- القدرة الخارجة مضروبة في الكفاءة .

د- القدرة الخارجة مضافاً إليها الخسائر الحديدية .

٤) يعتمد عزم المنتج في محرك التيار المستمر على :

أ- النبض المغناطيسي للأقطاب .

ب- تيار المنتج . ج- السرعة .

د- أ+ب هـ- أ+جـ

٥) تعتمد سرعة محرك التيار المستمر عند حمل ثابت على :

أ- الفيض المغناطيسي للأقطاب . ب- تيار المنتج .

جـ- القوة الدافعة . د- ب+جـ

٦) باهمال التشبع المغناطيسي، إذا زاد التيار المار في محرك تيار مستمر من نوع التوالي من ١٠ أمبير إلى ١٢ أمبير ، فإن نسبة الزيادة في عزم المحرك :

أ-٢٠٪ ب- ٣٠،٥٪

جـ-٤٤٪ د- ١٦،٦٪

٧) إذا انخفض الفيض المغناطيسي للأقطاب في محرك تيار مستمر إلى قيمة قليلة جداً، فإن سرعة المحرك :

أ- تقترب من الصفر .

ب- تصل إلى قيمة عالية جداً .

جـ- لا تتأثر بسبب التغير في القوة الدافعة الكهربائية العكسية .

د- تصل إلى قيمة معينة متوسطة .

٨) يجب عدم تسغيل محرك تيار مستمر توالي بدون حمل متصل به وإلا :

أ- سوف يسحب تياراً عالياً . ب- تزداد سرعته بشكل كبير مما قد يسبب تكلفته .

جـ- يتولد الشرر على الفرش . د- يفصل المصهر أو قاطع الدارة .

٩) عند زيادة الحمل على محرك تيار مستمر توازي فإن سرعة المحرك .

أ- تزداد طردياً جـ- تزداد قليلاً .

ب- تبقى ثابتة د- تقل قليلاً .

١٠) يعكس محرك التوازي، من الصعب أن يتوقف محرك التوالي عن الدوران بسبب زيادة التحميل لأنه :

أ - يولد عزم أعلى عند زيادة التحميل .

ب- يبقى الفيض المغناطيسي ثاثب .

جـ- تقل سرعته بصورة ملحوظة .

د- تكون القوة الدافعة العكسية المتولدة تساوي الصفر تقريباً .

١١) يمكن التحكم بسرعة محركات التيار المستمر بتغيير :

أ-القيض المغناطيسي للأقطاب . ب- مقاومة دارة المنتج .

جـ- الجهد المطبق على المنتج . د- كل ما سبق .

١٢) يدور العضو الدائر في المحرك الحثي ذو القفص السنجابي :

أ- عكس اتجاه المجال الدوار . ب- بنفس اتجاه المجال الدوار .

جـ- حسب اتجاه بدء الحركة . د- حسب الحمل المتصل بالمحرك .

١٣) إحدى الجمل التالية خاطئة وذلك فيما يتعلق بالفيض المغناطيسي للعضو الثابت في المحرك الحصي الثلاثي الأوجه :

أ- ثابت في المقدار . ب- يدور حول العضو الثابت بالسرعة التزامنية .

جـ- يولد قوة دافعة كهربائية في العضو الدائر . د- تعتمد على قيمة الحمل الموصول بالمحرك .

١٤) لا يستطيع العضو الدائر في المحرك الحثي أن يدور بنفس سرعة المجال الدوار لأن :

أ- عزم الدوران سوف يصبح صفراً .

ب- لأن المحرك الحثي سوف يصبح عندئذ محركاً تزامنياً .

جـ- الاحتكاك مع الهواء يمنعه من ذلك .

د- فقط إذا كان العضو الدائر متصلاً بحمل .

١٥) محرك حثي ثلاثي الأطوار، ٦أقطاب، ٥هيرتز يدور بسرعة ٩٥د/ د، إذا تم انقاص الحمل المتصل بالمحرك الى النصف فإن سرعة المحرك تصبح :

أ- ٤٧٥ د/ د جـ- ٩٧٥ د/ د

ب- ٥٠٠ د/ د د- ١٠٠٠ د/ د

١٦) إذا تك انقاص الجهد الى أطراف محرك حثي إلى النصف، فإن عزم البدأ للمحرك ــ من عزم البدء عند الجهد الإسمي للمحرك :

أ- $\frac{1}{2}$ ب- $\frac{1}{4}$ جـ- $\frac{1}{\sqrt{2}}$ د- $\frac{\sqrt{3}}{2}$

١٧) إحدى خصائص المحرك الحثي أحادي الوجه (بملف واحد) هي :

أ- انه يستطيع البدء لوحده . ب- لا يستطيع البدء لوحده .

جـ- يستطيع الدوران باتجاه واحد فقط . د- يستطيع البدء بعمل متوسط أو قليل فقط .

١٨) بعد فصل ملف البدء في المحرك الحثي أحادي الوجه أثناء التشغيل، فإن المحرك يستمر في الدوران على ملفات .

أ= العضو الدائر ب- التعويض

جـ-الأقطاب د- التشغيل .

١٩) إذا ترك ملف البدء في المحرك الحثي ذو الوجه الواحد في الدارة أثناء التشغيل فإن :

أ- المحرك يسحب تياراً أعلى من المعتاد وترتفع درجة حرارته .

ب- المحرك بولد عزماً أكبر .

جـ- المحرك يدور بسرعة أكبر .

د- المحرك يولد شرراً عند تحميله .

٢٠) يمكن عكس اتجاه دوران المحرك الحثي أحادي الوجه بواسطة :

أ- عكس توصيلات كل من ملف البدء وملف التشغيل .

ب- عكس توصيلات ملف التشغيل .

جـ- عكس توصيلات أسلاك المصدر .

د- عكس توصيلات مفتاح الطرد المركزي .

٢١) يتم توصيل المواسع في المحرك ذو مواسع البدء على :

أ- التوالي مع ملف التشغيل . ب- التوالي مع ملف البدء .

جـ- التوالي مع المنتج . د- التوازي مع ملف التشغيل .

٢٢) جميع الجمل التالية المتعلقة بالمحرك ذو القطب المظلل صحيحة ما عدا :

١- يدور المحرك بالإتجاه من القطب غير المظلل إلى القطب المظلل .

ب- كفاءة المحرك منخفضة .

جـ- له عزم بدئ منخفض .

د-يستعمل في الخلاطات والمقادح .

٢٣) من أهم خصائص المحرك العام :

أ- له أفضل خصائص عند تردده ٥٠ هيرتز .

ب- تقل سرعته عند جميع الأحمال .

جـ- له خصائص ممتازة على مصدر التغذية المستمر (dc) .

د- له عزم بدء عال مقارنة بالمحركات احادية الطور الأخرى .

٢٤) في محركات الخطوة ذات المقاومة المتغيرة :

أ- يتركب العضو الدائر من اسطوانة دائرية .

ب- يتركب العضو الدوار من مغناطيسات مركبة على أسنان بارزة .

جـ- توجد ملفات على العضو الدائر .

د- يتركب العضو الدائر من أسنان بارزة من الحديد اللين .

٢٥) تشغيل محركات الخطوة أن يتم توصيل المصدر إلى أكثر من ملف في نفس الوقت وذلك :

أ- لعكس اتجاه الدوران .

ب- للحصول على عزم أكبر .

جـ- لدوران المحرك بخطوة كاملة .

د- بدوران المحرك بنصف خطوة .

المراجع

Theodore Wildi

Electrical Machines,Drives,and Power System.

2002,Published by Pearson Fifth Edition.

B.L Theraja

A.K Theraja

A trxt-Book of Electrical Rechnology 1995,Publislead Nirja Construction development. G T2

Electrical power Proficiency Course publisher Wiley Eastern, 3rd Edition, 1988.

WWW.antrimon.ch/pdf/haydon/ Zone. ni.com/devzone/devzoneweb usf.

الالكترونيات . د . زياد القاضي، م . إبراهيم غريب، د . سامي سرحان، د . عبد الفتاح سليمان، م . هدى حواشي، ط1 ١٩٩١، دار الفكر و النشر و التوزيع عمان .

اساسيات الالكترونيات . إي ات لورج، تعريب معن محمد شاكر خليل، محمود شكر مجيد، قسم الكهرباء المعهد الفني الموصل ١٩٨٧، دار الكتب للطباعة و النشر

Electronic Devices Fifth Edition THOMAS L. FLOYD Prentice Hall International, Inc 1996

تكنولوجيا الاليكترونيات – الدوائر الأساسية الإليكترونية الأسس النظرية و التطبيقية العلمية .

Electronic circuits Fundamentals and Applications تأليف مايك تولي، ترجمة د . خالد العامري، قسم الترجمة بدار الفاروق للنشر و التوزيع، الناشر دار الفاروق للنشر و التوزيع ٢٠٠٤م .

تم بحمد الله

